



Universidade do Porto

FEUP Faculdade de
Engenharia

Valorização de Biorresíduos no Município de Paços de Ferreira

MARIA ISABEL VIANA DE CASTRO NOGUEIRA

Dissertação submetida para obtenção do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

Orientador académico: Doutora Joana Maia Dias

Orientador na empresa: Eng.º. António José Leal Tavares

fevereiro de 2013



Universidade do Porto

FEUP Faculdade de
Engenharia

Valorização de Biorresíduos no Município de Paços de Ferreira

MARIA ISABEL VIANA DE CASTRO NOGUEIRA

Dissertação submetida para obtenção do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

Aprovado em provas públicas pelo Júri:

Presidente: Doutor Fernando Gomes Martins

Arguente: Doutor Carlos Albino Veiga da Costa

Orientador empresarial: Eng.º António José Leal Tavares

Orientador académico: Doutora Joana Maia Dias

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

Correio eletrónico: feup@fe.up.pt

Endereço eletrónico: <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente – 2012/2013 – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2013.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação não teria sido possível sem a ajuda e colaboração de várias pessoas, que merecem o meu profundo reconhecimento e gratidão.

À Professora Doutora Joana Maia Dias pela orientação atenta, pela disponibilidade permanente e pelas pertinentes sugestões.

Ao Engenheiro António Tavares pela simpatia e apoio incansável, pela e colaboração na realização deste trabalho e pelos numerosos esclarecimentos prestados.

Ao Engenheiro João Paulo pelo empenho e tempo dedicado à ajuda na realização deste trabalho, pela partilha de ideias e conhecimentos e pela simpatia sempre demonstrada.

Ao Orlando pela ajuda e disponibilidade sempre demonstradas.

À D. Justina pelo carinho e simpatia sempre demonstrados, pela preocupação e pela ajuda incansável, sem a qual a realização deste trabalho seria bem mais difícil.

Aos funcionários do departamento de ambiente da Câmara Municipal de Paços de Ferreira, em especial ao Senhor José, pela ajuda e pela disponibilização de equipamento, essencial no desenvolvimento deste trabalho.

A todos os colaboradores do DOMIA da Câmara Municipal de Paços de Ferreira pela forma acolhedora com que me receberam, em especial à Paula.

À minha mãe um agradecimento especial pelo apoio incondicional, pelo carinho demonstrado, pelo incentivo e motivação nos momentos mais difíceis.

Ao meu irmão, pela alegria e animação contagiantes e pela ajuda prestada em variadas situações.

À minha Avó, Dulce e tia Felisbina pelo carinho e preocupação sempre demonstrados.

Ao Carlos pela ajuda prestada.

RESUMO

Os objetivos principais da presente dissertação foram a avaliação da implementação de um centro de compostagem assim como o estudo do atual sistema de recolha de resíduos urbanos no Município de Paços de Ferreira, em particular dos resíduos verdes, avaliando as principais fontes geradoras, com vista ao dimensionamento e implementação do centro de compostagem, definindo necessidades de equipamento de apoio e infraestruturas.

Este trabalho revelou que, apesar da fração de biorresíduos ter uma enorme representatividade na composição dos resíduos urbanos (cerca de 33 %), não é atualmente realizada uma gestão que aproveite esse potencial. A quantidade de resíduos verdes depositados em aterro representa cerca de 5,6 % da totalidade dos resíduos urbanos indiferenciados; por outro lado, os resíduos verdes e a serradura de madeira rececionados no ecocentro correspondem a 16,2 % e a 50,8 %, respetivamente, do total de resíduos.

Com o objetivo de contribuir para a resolução desta problemática, foram realizados 3 ensaios piloto de compostagem em pilhas com revolvimento. A pilha A foi construída com 75 % de aparas de relva e 25 % de aparas de relva com outros resíduos de jardim, já as pilhas B e C foram construídas com 50 % de relva mais os restantes componentes (50 % de folhas na B e 40 % e 10 % de folhas e serradura de madeira, respetivamente, na pilha C). O controlo do processo revelou que a pilha C apresentou as melhores condições para o desenvolvimento da compostagem.

Paralelamente foi dimensionado um centro de compostagem para uma capacidade de tratamento de 4 000 t de resíduos por ano, que corresponde a aproximadamente o dobro da produção de resíduos verdes em 2011, sendo necessários 5 254 m² de área para a sua implementação. Da totalidade da área necessária, 4 554 m² são referentes à área ativa de compostagem e os restantes 700 m² são destinados às áreas de apoio e infraestruturas.

Palavras-chave: Biorresíduos; Resíduos Verdes; Gestão de Resíduos Urbanos; Compostagem.

ABSTRACT

The main objectives of the present thesis were to evaluate the implementation of a composting plant as well as the study of the waste collection system in the Municipality of Paços de Ferreira, particularly garden waste, evaluating the main generation sources, aiming to design a composting process and defining the needs, support equipment and infrastructures.

This study revealed that although the biowaste fraction presented a great representation in the composition of municipal waste (about 33%) the management currently performed does not take advantage of such potential. The percentage of garden waste landfilled represents about 5.56% of total household waste; on the other hand, the percentage of garden waste and wood sawdust received at the nearest recycling center corresponds to 16,2% and 50,8%, respectively, of all waste received.

Aiming the contribution to solve such problems, 3 pilot studies in composting piles were performed. The pile A was constructed with the 75% of grass clippings and 25% of grass clippings with other garden waste, the piles B and C were built with 50% grass and other components (50% of leaves in B and 40% and 10% of leaves and sawdust, respectively, in C). The process control showed that the pile C presented the best conditions for the development of the composting.

In parallel, a composting plant was designed for a capacity to treat 4000 t of waste per year, corresponding to approximately double of the garden waste produced in 2011; a 5 254 m² area is required for its implementation. Of the total area needed, 4 554 m² relate to the active composting area and the remaining 700 m² are intended to support areas and infrastructures.

Keywords: Biowaste; Garden Waste, Municipal Waste Management; Composting.

ÍNDICE

1	Introdução	1
1.1	Conceito de Resíduo, Resíduo Urbano e Biorresíduo	1
1.2	Gestão de Resíduos Urbanos em Portugal	3
1.2.1	Entidades Gestoras de Resíduos Urbanos	4
1.2.2	Produção de Resíduos Urbanos	6
1.2.3	Composição Física dos Resíduos Urbanos	8
1.2.4	Operações de Gestão dos Resíduos Urbanos	9
1.3	Gestão e Valorização de Biorresíduos	15
1.3.1	Compostagem. Perspetiva Histórica	16
1.3.2	Conceitos	16
1.3.3	Descrição Geral do Processo	18
1.3.4	Matéria Orgânica para Compostagem	22
1.3.5	Tecnologias de Compostagem	25
1.3.6	Controlo do Processo	28
1.3.7	O Composto Final	44
1.4	Objetivos	48
1.5	Estrutura e Organização da Tese	48
2	Gestão de Resíduos Urbanos no Município de Paços de Ferreira	51
2.1	Caracterização do Município	51
2.2	Sistema Atual de Gestão de resíduos	54
2.2.1	SUMA - Serviços Urbanos e Meio Ambiente, S.A.	59
2.2.2	Serviços Municipais	62
2.2.3	Ambisousa	68
2.3	Gestão de Biorresíduos	72
3	Metodologia	77

3.1	Compostagem de Resíduos Verdes	77
3.1.1	Materiais e Equipamentos	77
3.1.2	Métodos	85
3.2	Dimensionamento do Centro Municipal de Compostagem de Resíduos Verdes, CMC.	100
3.2.1	Determinação da Capacidade de Tratamento de Resíduos	101
3.2.2	Seleção da Localização do Centro Municipal de Compostagem	103
3.2.3	Seleção do Sistema de Compostagem	108
3.2.4	Área Ativa de Compostagem	109
3.2.5	Determinação da Área de Maturação, Crivagem e Armazenamento do Composto	111
3.2.6	Determinação da Área de Receção e Pré-Processamento dos Resíduos Verdes	112
4	Resultados e Discussão	113
4.1	Ensaio de Compostagem	113
4.1.1	Resíduos Verdes	113
4.1.2	Controlo do Processo de Compostagem	117
4.2	Dimensionamento de Centro de Compostagem de Resíduos Verdes	127
4.2.1	Capacidade de Processamento de Resíduos	127
4.2.2	Localização do Centro de Compostagem	128
4.2.3	Sistema de Compostagem Selecionado	128
4.2.4	Área Ativa de Compostagem	130
4.2.5	Área de Receção e Pré-Processamento dos Resíduos Verdes	132
4.2.6	Área de Maturação e Crivagem e Armazenamento do Composto	133
4.2.7	Equipamento e Infraestruturas de Apoio	133
4.2.8	Descrição do Modo de Funcionamento do CMC	136

5 Conclusão	139
6 Referências Bibliográficas.....	143
7 Anexos	i
Anexo I Compostagem	i
Anexo II Representação esquemática de decomposição e estabilização da matéria orgânica	iii
Anexo III Resíduos Orgânicos Compostáveis.....	iv
Anexo IV Tecnologias de Compostagem	v
Anexo V Descrição e Caracterização dos Parâmetros de Controlo do Processo de compostagem	xvii
Anexo VI Estrutura tarifária dos Resíduos urbanos em Paços de Ferreira	xxiii
Anexo VII Quantidade de Ecopontos no Município de Paços de Ferreira.....	xxvi
Anexo VIII Quantidade de Resíduos Depositados no Aterro Sanitário de Lustosa ..	xxvii

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Variedade de resíduos de natureza orgânica existente em Portugal (Adaptado de Rocha, C.L.P. ^[2]).....	2
Figura 2- Diversidade de Biorresíduos (Adaptado de Comissão Europeia ^[3]).....	3
Figura 3- Sistemas de Gestão de Resíduos Urbanos em 2011 (Adaptado de Agência Portuguesa do Ambiente, APA ^[6]	5
Figura 4- Equipamentos e infraestruturas existentes em Portugal Continental em 2011 (Adaptado de Agência Portuguesa do Ambiente ^[6]).....	6
Figura 5- Produção e captação diária de resíduos urbanos em Portugal, entre 2007 e 2011 ^[7]	7
Figura 6- Captação de resíduos urbanos (kg/hab/ ano) em Portugal e na União Europeia do 27, entre 2007 e 2011 (Adaptado de INE ^[8]).....	7
Figura 7- Principais fatores que influenciam a composição física dos resíduos urbanos em Portugal.	8
Figura 8- Composição física média dos resíduos urbanos em Portugal Continental e na Região Autónoma da Madeira, em 2010 (Adaptado de APA ^[9]).....	9
Figura 9- Hierarquia de gestão de resíduos.	10
Figura 10- Resíduos urbanos recolhidos seletivamente, por tipo de recolha ^[8]	11
Figura 11- Resíduos urbanos encaminhados para as diversas operações de gestão em Portugal continental ^[9]	12
Figura 12-Destino final dos resíduos urbanos biodegradáveis em 2011 ^[9]	13
Figura 13 - Esquema geral do Processo de Compostagem (Adaptado de Rynk, R. et al. ^[14] e de Santos, L.M.d.C. ^[23]).....	18
Figura 14 - Variações de temperatura e pH ao longo do processo de compostagem (Adaptado de Epstein, E. ^[21] e Martinho, M.& M. Gonçalves, ^[27]).....	19
Figura 15 - Diagrama dos parâmetros mais importantes na decomposição da matéria orgânica num processo de compostagem (Adaptado de Cunha Queda, A.C.F ^[25]).....	29
Figura 16 - Perfil típico de temperatura numa pilha de compostagem (Adaptado de Russo, M.A.T. ^[57]).....	32
Figura 17 - Enquadramento geográfico do município de Paços de Ferreira (Adaptado de Mapas de Portugal ^[76]).....	52

Figura 18- População residente no município de Paços de Ferreira em 2001 e 2011. (Adaptado INE-CENSOS 2011 ^[76])	54
Figura 19 - Responsabilidades de gestão dos serviços urbanos e ambiente da CMPF. .	55
Figura 20- Esquema representativo do sistema de recolha de resíduos urbanos em Paços de Ferreira.	57
Figura 21 – Serviços prestados pela SUMA.	59
Figura 22 – Disposição dos diferentes contentores no ecocentro (Adaptado de Câmara Municipal de Paços de Ferreira ^[74]).	64
Figura 23- Quantidade total de resíduos rececionados no ecocentro municipal entre 2007 e 2012.	65
Figura 24- Quantidades de resíduos dos diferentes fluxos específicos rececionados no ecocentro.....	66
Figura 25 - Composição dos resíduos recebidos no ecocentro em 2011.	67
Figura 26 – Composição dos resíduos recebidos no ecocentro em 2012.	68
Figura 27 – Evolução da capitação diária de resíduos (kg/hab/dia) em Paços de Ferreira de 2007 a 2011 (Adaptado de Ambisousa ^{[79] [80] [81] [82] [83]}).	70
Figura 28 – Evolução da recolha seletiva em Paços de Ferreira de 2007 a 2011 (Adaptado de Ambisousa ^{[79] [80] [81] [82] [83]}).	71
Figura 29- Proveniência e destino dos biorresíduos produzidos em Paços de Ferreira.	72
Figura 30 – Composição física dos resíduos indiferenciados em Paços de Ferreira em 2011 (Adaptado de Ambisousa ^[84]).	74
Figura 31 - Composição física dos Biorresíduos em Paços de Ferreira em 2011 (Adaptado de Ambisousa ^[84]).	74
Figura 32 - Contentor dos resíduos verdes finos do ecocentro de Paços de Ferreira (vista de cima).....	78
Figura 33 – Aparas de relva com outros resíduos de jardim.....	79
Figura 34 - Folhas utilizadas no ensaio de compostagem.....	81
Figura 35 - A- Contentor dos resíduos de serradura de madeira (vista de cima); B - Serradura de madeira utilizada no ensaio de compostagem.	82
Figura 36 - A- Balança Decimal; B- Recipiente de auxílio à pesagem das matérias-primas.....	83
Figura 37- Delta OHM- HD 6016-Termometro digital microprocessador.	84

Figura 38 – Forma da Pilha de compostagem.	86
Figura 39 – Forma das pilhas de compostagem A,B e C após construção (Vista lateral) (23/10/2012).	86
Figura 40 - Esquema do procedimento sequencial de adição das matérias-primas na construção das pilhas de compostagem.	91
Figura 41- Etiquetagem das amostras recolhidas das pilhas de compostagem.	92
Figura 42 – Procedimento sequencial de adição dos resíduos da mistura 2. Exemplo pilha B.	99
Figura 43 – Cidade Empresarial de Paços de Ferreira- localização dos polos industriais (Adaptado de PFR <i>Invest</i> ^[87]).	104
Figura 44- Pólo Industrial 1. Delimitação da área de ocupação. (Adaptado de PFR <i>Invest</i> ^[87])	105
Figura 45-- Pólo Industrial 3. Delimitação da área de ocupação. (Adaptado de PFR <i>Invest</i> ^[87])	106
Figura 46- Pólo Industrial 5. Delimitação da área de ocupação. (Adaptado de PFR <i>Invest</i> ^[87])	107
Figura 47 - Pólo Industrial 6. Delimitação da área de ocupação. (Adaptado de PFR <i>Invest</i> ^[87])	108
Figura 48 – Evolução da temperatura no centro das pilhas de compostagem entre o 13º dia de compostagem e o final.	118
Figura 49 – Evolução da temperatura ambiente e temperaturas do centro da pilha desde o início da monitorização da temperatura e primeiro revolvimento (5 de novembro) até ao segundo revolvimento (20 de novembro).	118
Figura 50 - Evolução da temperatura ambiente e temperaturas do centro da pilha desde o segundo revolvimento (21 de novembro) até ao terceiro revolvimento (4 de dezembro).	120
Figura 51 – Pilha A no dia 20 de novembro, após revolvimento.	120
Figura 52 - Evolução da temperatura ambiente e temperaturas do centro da pilha após o terceiro revolvimento (6 de dezembro) até ao quarto revolvimento (3 de janeiro).	121
Figura 53 - Evolução da temperatura ambiente e temperaturas do centro da pilha após o quarto revolvimento (5 de janeiro) até final do processo (29 de janeiro).	122
Figura 54- Esquema geral de funcionamento do CMC.	129

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Quantidade de resíduos urbanos geridos, indiferenciada e seletivamente, em 2011 ^[9]	10
Tabela 2- Quantidade de resíduos urbanos geridos por operação de gestão ^[8]	11
Tabela 3- Metas de desvio de resíduos urbanos biodegradáveis em Portugal (Adaptado de PERSU II. 2007-2016 ^[10]).....	14
Tabela 4- Classificação dos resíduos ara compostagem ^[35]	23
Tabela 5- Diversidade de sistemas de compostagem. (Adaptado de Epstein, E. ^[22]).....	27
Tabela 6- Tamanho ideal das partículas num processo de compostagem.	37
Tabela 7- Razão C/N de alguns resíduos passíveis de serem compostados (Adaptado de Tchobanoglous, G. et al. ^[55] e Golueke, C.G. ^[51]).....	41
Tabela 8- Temperatura, duração do processo e número de revolvimentos estabelecidos (Adaptado de <i>European Commission- Directorate-General Environment</i> ^[73]).....	45
Tabela 9 – Limites para alguns metais pesados, contaminantes e agentes patogenicos, entre outros (Adaptado de <i>European Commission- Directorate-General Environment</i> ^[73]).....	46
Tabela 10 – Limites máximos definidos para corretivos orgânicos relativamente a características físico-químicas e microbiológicas (Adaptado de <i>Proposta de Norma Técnica sobre Qualidade e Utilizações do Composto</i> ^{[1] [54]}).....	47
Tabela 11 – População residente nas diferentes freguesias do município de Paços de Ferreira (Adaptado de INE ^[77]).....	53
Tabela 12- Quantidade de equipamento de deposição no município de Paços de Ferreira.	60
Tabela 13 – Quantidade de cada tipo de resíduos rececionados no ecocentro	67
Tabela 14- Custos associados aos serviços de gestão de resíduos urbanos no município de Paços de Ferreira, em 2011.	71
Tabela 15- Características da matéria-prima aparas de relva ^[85]	78
Tabela 16 - Características da matéria-prima aparas de relva com outros resíduos de jardim ^[85]	80
Tabela 17 – Características da matéria-prima folhas ^[85]	81

Tabela 18 – Características da matéria-prima serradura de madeira ^[85]	82
Tabela 19 - Valores típicos de Massa Volúmica (kg m^{-3}) e Humidade (% m/m, base húmida) das matérias-primas utilizadas. ^[85]	87
Tabela 20 - Percentagem das matérias-primas utilizadas na constituição das pilhas de compostagem.	88
Tabela 21 - Valores de massa volúmica (kg m^{-3}) e humidade (% m/m, base húmida) da mistura em cada uma das pilhas.	89
Tabela 22 - Quantidade de materiais adicionados a cada pilha de compostagem.	89
Tabela 23- Códigos das amostras recolhidas durante o ensaio de compostagem.	93
Tabela 24 - Valores típicos de massa volúmica (kg m^{-3}) e humidade (% m/m, base húmida) das matérias-primas utilizadas e da mistura resultante. ^[85]	98
Tabela 25 - Quantidade de materiais adicionados na mistura 2.....	98
Tabela 26 – Quantidade de resíduos verdes e serradura de madeira rececionados no ecocentro, nos anos de 2011 e 2012.	101
Tabela 27 – Quantidade de resíduos verdes (t) produzidos no município de Paços de Ferreira, em 2011. ^{[79] [84]}	102
Tabela 28- Localização e Área disponível para construção de um centro de compostagem nos pólos industriais 1, 3, 5 e 6 ^[89]	104
Tabela 29- Composição física (%) e massa volúmica média (kg m^{-3}) dos resíduos verdes.	110
Tabela 30 – Valores de pH medido em amostras dos resíduos verdes.	113
Tabela 31 – Valores de humidade dos diferentes resíduos utilizados.	114
Tabela 32 – Valores reais do teor de humidade inicial das diferentes pilhas.....	115
Tabela 33 – Massa total de amostra analisada e as quantidades retidas em cada peneiro.	116
Tabela 34 – Percentagem média de amostra retida em cada peneiro.	116
Tabela 35 – Teor de humidade das pilhas de compostagem.....	124
Tabela 36 – Massa total de amostra analisada e as quantidades retidas em cada peneiro.	125
Tabela 37 – Percentagem média de amostra retida em cada peneiro.	126
Tabela 38 - Valores de pH medido em amostras das pilhas de compostagem.	127

Tabela 39- Quantidade (t) e volume (m ³) de resíduos verdes passíveis de serem processados no CMC, por período de tempo.....	130
Tabela 40 – Volume total de resíduos processados durante o tempo de compostagem.	130
Tabela 41 - Características das pilhas de compostagem do CMC.	131
Tabela 42- Dimensões da área ativa de compostagem do CMC.	132
Tabela 43- Funções dos equipamentos essenciais ao funcionamento no CMC ^[92] ^[93]	134
Tabela 44-Descrição das infraestruturas necessárias para o funcionamento do CMC.	135

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

RSU's – *Resíduos Sólidos Urbanos*

RU - *Resíduos Urbanos*

RCD - *Resíduos de Construção e Demolição*

REEE – *Resíduos de Equipamento Equipamentos Elétricos e Eletrónicos*

SGRU - *Sistemas de Gestão de Resíduos Urbanos, SGRU*

PPRU - *Programa de Prevenção de Resíduos Urbanos 2009-2016*

PERSU II - *Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos*

APA – *Agência Portuguesa do Ambiente*

INE - *Instituto Nacional de Estatística*

LER – *Lista Europeia de Resíduos*

PDM-*Plano Diretor Municipal*

CMPF – *Câmara Municipal de Paços de Ferreira*

SUMA - *Serviços Urbanos e Meio Ambiente, S.A.*

CMC – *Centro Municipal de Compostagem.*

1

INTRODUÇÃO

1.1 CONCEITO DE RESÍDUO, RESÍDUO URBANO E BIORRESÍDUO

Segundo o Decreto – Lei nº 73/2011 de 17 de Junho, legislação fundamental no âmbito da gestão de resíduos, que transpõe a Diretiva nº 2008/98/CE, de 19 de novembro, e altera e republica o Decreto – Lei nº 178/2006, definem-se como resíduos *“quaisquer substâncias ou objetos de que o detentor se desfaz ou tem a intenção ou a obrigação de se desfazer”*.

A definição do conceito de resíduo, consignada na legislação europeia desde 1975, não tem sido significativamente alterada ao longo do tempo, no entanto a Diretiva nº2008/98/CE apresentam-se novos conceitos, como subproduto e de fim do estatuto de resíduo, que clarificam a definição de resíduo, reforçando os princípios da sua valorização e utilização.

O fim do estatuto de resíduo para determinados materiais, quando estes satisfazem critérios específicos, permite que estes sejam abrangidos pelos objetivos estipulados de valorização e de reciclagem, favorecendo a sua reintegração nos mercados económicos e aumentando a eficiência da utilização dos recursos ^[1].

A classificação de resíduos pode ser feita consoante a sua origem, a sua forma ou estado, as suas propriedades físico-químicas, a definição legal, entre outros. Quanto à origem, os resíduos podem ser classificados como resíduos hospitalares, resíduos domésticos, resíduos industriais, resíduos de construção e demolição (RCD), resíduos agrícolas e resíduos urbanos.

É definido como resíduo urbano, ainda segundo o Decreto-Lei nº 73/2011, de 17 de Junho, “o resíduo proveniente de habitações bem como outro resíduo que, pela sua natureza ou composição, seja semelhante ao resíduo proveniente de habitações”.

Os resíduos orgânicos biodegradáveis são definidos legalmente como aqueles “que podem ser sujeitos a uma decomposição biológica anaeróbia ou aeróbia, designadamente os resíduos alimentares e de jardim, o papel e o cartão ” (Decreto-Lei nº 183/2009, de 10 de Agosto, relativo á deposição em aterro controlado). Desta forma, existem diversos resíduos que se classificam como resíduos orgânicos biodegradáveis, como Resíduos Urbanos Biodegradáveis, RUB, e os resíduos orgânicos agrícolas e industriais. A Figura 1 ilustra a variedade de resíduos biodegradáveis de acordo com as diferentes origens ^[2].

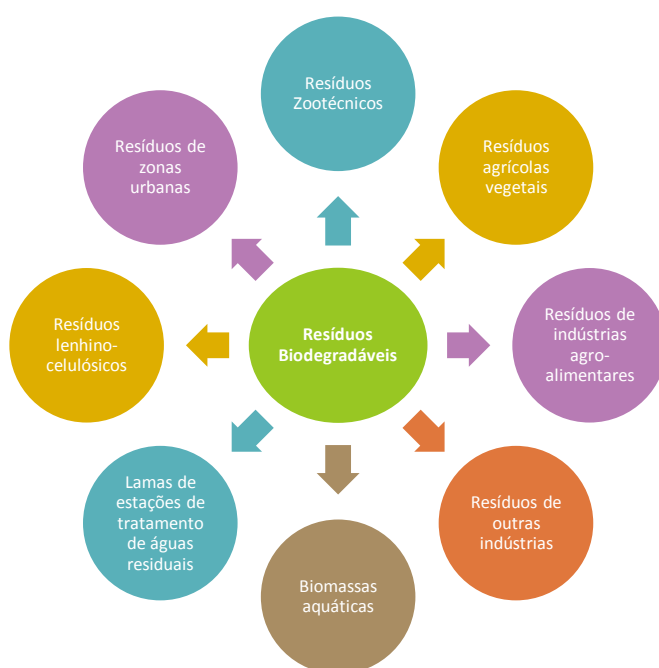


Figura 1- Variedade de resíduos de natureza orgânica existente em Portugal (Adaptado de Rocha, C.L.P. ^[2]).

O Decreto-Lei nº 73/2011, de 17 de Junho, consagra especial importância ao conceito de biorresíduos, definindo-os como "os resíduos biodegradáveis de espaços verdes, nomeadamente os de jardins, parques, campos desportivos, bem como os resíduos biodegradáveis alimentares e de cozinha de habitações, das unidades de fornecimento de refeições e de retalho e os resíduos similares das unidades de transformação de alimentos”.

Tal como se esquematiza na Figura 2, são considerados biorresíduos os resíduos biodegradáveis de parques e jardins, os resíduos alimentares (domésticos, de restaurantes e de retalhistas) e resíduos semelhantes de unidades de transformação

de alimentos. São excluídos os produtos residuais agrícolas e silvícolas, as lamas de depuração, o estrume, têxteis naturais, madeira transformada e papel ^[3].

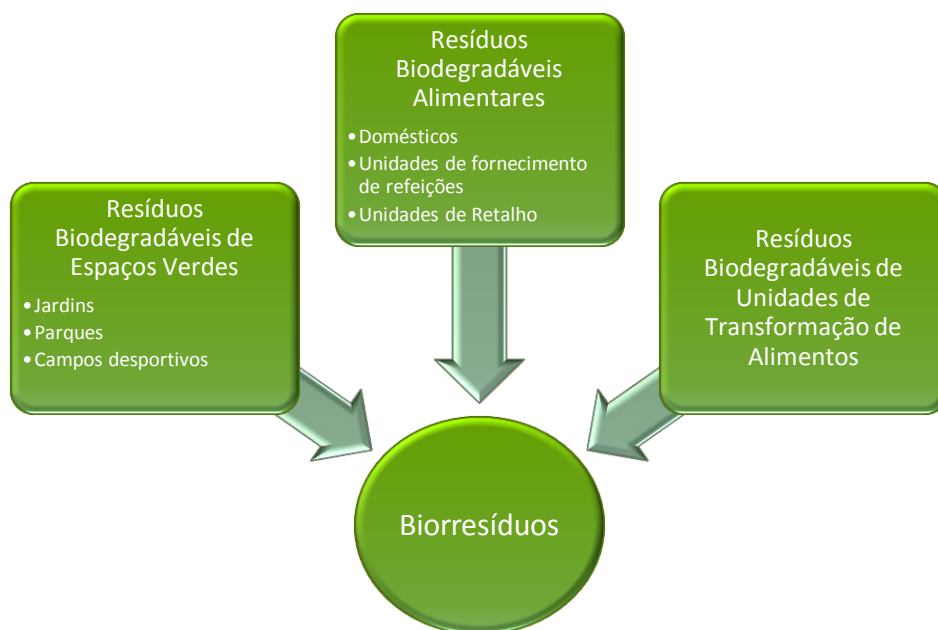


Figura 2- Diversidade de Biorresíduos (Adaptado de Comissão Europeia ^[3]).

Os resíduos verdes são todos os resíduos biodegradáveis resultantes da manutenção de jardins, parques e campos desportivos, da agricultura e floresta. Por definição, considera-se a sua existência apenas quando são recolhidos ^[7]. Apesar de representarem uma parcela importante dos resíduos biodegradáveis, não são disponibilizados dados estatísticos específicos, verificando-se uma enorme lacuna informativa, nomeadamente em relação à sua composição. No entanto, atendendo à origem dos resíduos verdes prevê-se que a sua composição e quantidade sejam bastante diversificadas, dependendo de fatores como as estações do ano, o clima e as estratégias de gestão de resíduos.

1.2 GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS EM PORTUGAL

Em Portugal, encontra-se atualmente implementada uma política de resíduos que visa a minimização dos impactes ambientais e na saúde pública e a preservação dos

recursos naturais, através do incentivo à redução da produção de resíduos, à sua reutilização e reciclagem ^[5].

A responsabilidade pela gestão dos resíduos é legalmente atribuída ao seu produtor, desde a publicação da Lei de Bases do Ambiente (Lei n.º 11/87, de 7 de abril, alterada pela Lei n.º 13/2002, de 19 de fevereiro), onde se impõe que “a responsabilidade do destino dos diversos tipos de resíduos é de quem os produz”. O mesmo princípio é reiterado no Decreto-Lei n.º 73/2011, segundo o qual a responsabilidade pela gestão dos resíduos “cabe ao produtor inicial dos resíduos, sem prejuízo de poder ser imputada, na totalidade ou em parte, ao produtor do produto que deu origem aos resíduos e partilhada pelos distribuidores desse produto se tal decorrer de legislação específica aplicável”. No entanto, o mesmo decreto afirma a que “O produtor inicial dos resíduos ou o detentor devem, em conformidade com os princípios da hierarquia de gestão de resíduos e da proteção da saúde humana e do ambiente, assegurar o tratamento dos resíduos”. Para esse efeito, é permitido recurso a entidades licenciadas que executem as operações de recolha ou tratamento, assim como as que sejam responsáveis por sistemas de gestão de fluxos específicos de resíduos.

No sentido de dar resposta à problemática da gestão dos resíduos foram criados os sistemas de gestão de resíduos urbanos, SGRU, sob a responsabilidade de entidades gestoras de resíduos urbanos.

1.2.1 ENTIDADES GESTORAS DE RESÍDUOS URBANOS

A gestão de resíduos urbanos envolve diversas operações, como a recolha e o transporte, designadas operações em baixa e da responsabilidade dos municípios, e operações como a triagem, tratamento, valorização e eliminação, operações em alta, sob a responsabilidade dos SGRU.

Atualmente existem dois SGRU na Região Autónoma dos Açores, um na Região Autónoma da Madeira e vinte e três distribuídos pela totalidade do território continental (Figura 3), dos quais doze são multimunicipais e onze são Intermunicipais,

estes SGRU possuem infraestruturas que asseguram um destino final adequado para os RSU produzidos na área por eles abrangida ^[6].

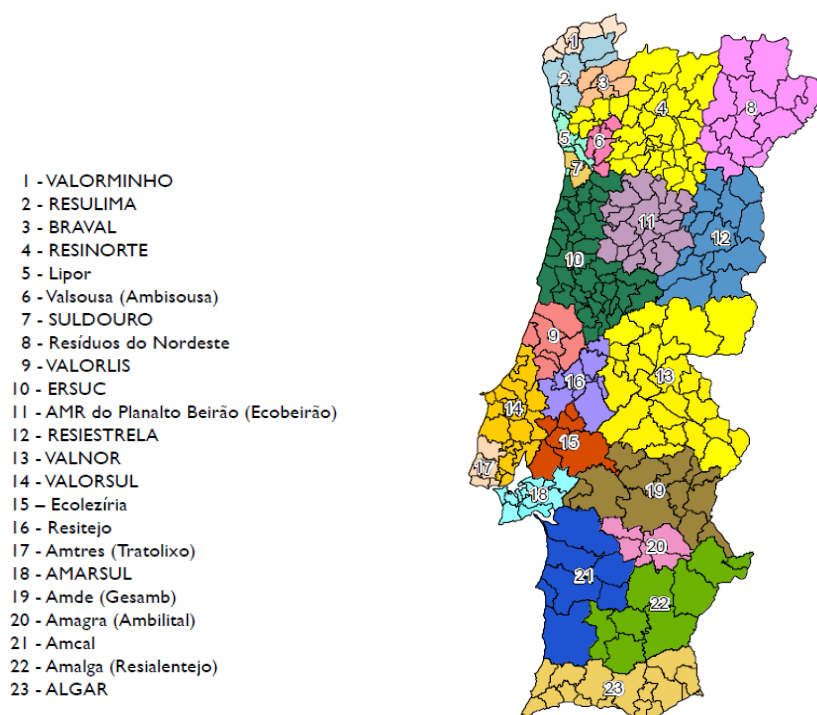


Figura 3- Sistemas de Gestão de Resíduos Urbanos em 2011 (Adaptado de Agência Portuguesa do Ambiente, APA ^[6]).

Atendendo aos objetivos propostos pelo Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos, PERSU II, relativos à diminuição da quantidade de resíduos biodegradáveis enviados para aterro, assim como o Decreto-Lei nº 183/2009, que atualiza as metas de redução, têm vindo a serem implementadas unidades de valorização orgânica, pelo que verificou-se em 2011 uma agregação de alguns dos atuais SGRU, tal como é visível na Figura 4 ^[6].

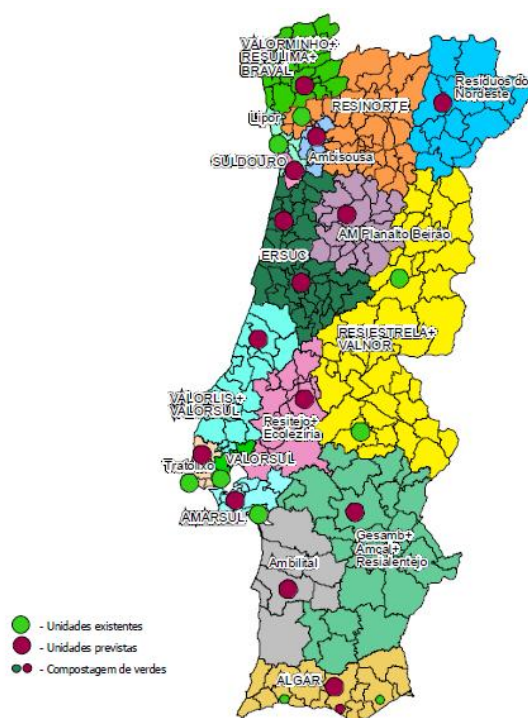


Figura 4- Equipamentos e infraestruturas existentes em Portugal Continental em 2011 (Adaptado de Agência Portuguesa do Ambiente ^[6]).

No ano de 2011, no Continente, encontravam-se em operação nove unidades de valorização orgânica, das quais duas são específicas para compostagem de resíduos verdes. Estavam já em construção 10 novas unidades de valorização orgânica, tratando-se, na sua maioria, de instalações com recurso a digestão anaeróbia. Para além destas infraestruturas, encontram-se ainda previstas cinco unidades adicionais de valorização orgânica de resíduos orgânicos. O conjunto das unidades atrás referidas, que se perspectiva estejam em pleno funcionamento em 2013, deverá permitir desviar de aterro aproximadamente 0,4 Mt de resíduos urbanos biodegradáveis por ano.

1.2.2 PRODUÇÃO DE RESÍDUOS URBANOS

Em Portugal, com a criação do PERSU II, foram instituídas metas para a produção anual de resíduos urbanos, com vista à sua redução. Este plano estabelece, como meta para 2016, uma produção anual de resíduos urbanos de cerca de 4,937 Mt. Paralelamente, o Programa de Prevenção de Resíduos Urbanos 2009-2016, PPRU, estabelece para 2016 uma redução da capitação média diária, em relação a 2007, de 10%.

A produção anual e a capitação média diária de resíduos urbanos entre os anos de 2007 e 2011 é apresentada na Figura 5. Na Figura 6 é apresentada a comparação entre a capitação de RU em Portugal e na União Europeia entre 2007 e 2011.

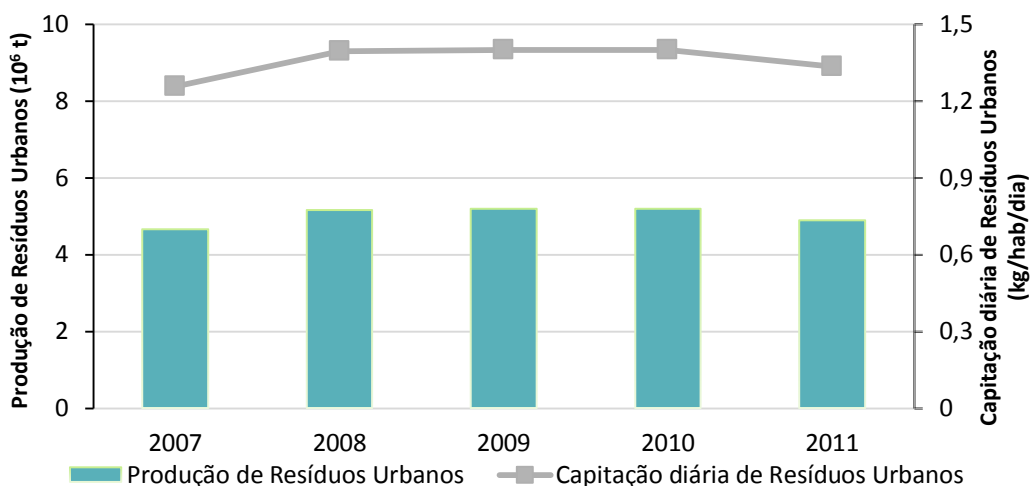


Figura 5- Produção e capitação diária de resíduos urbanos em Portugal, entre 2007 e 2011 ^[7].

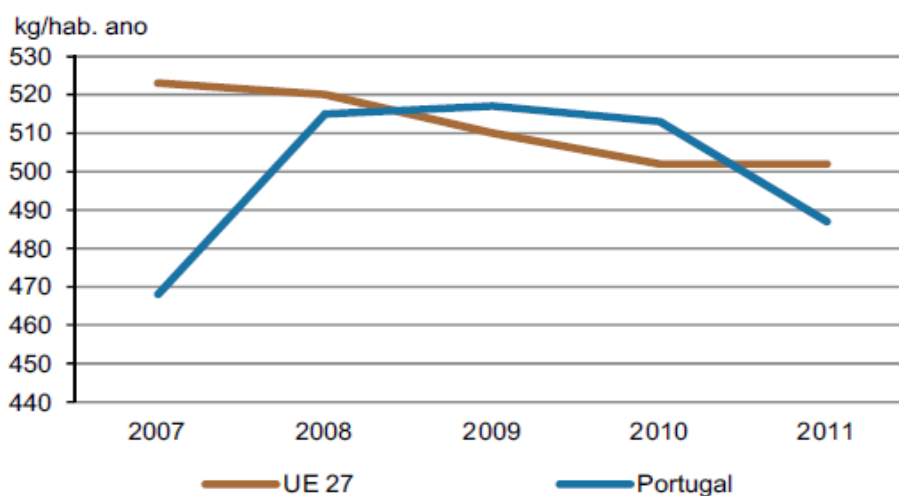


Figura 6- Capitação de resíduos urbanos (kg/hab/ ano) em Portugal e na União Europeia do 27, entre 2007 e 2011 (Adaptado de INE ^[8])

Em Portugal Continental produziram-se, em 2011, cerca de 4,880 Mt de resíduos urbanos. Apesar de se registar uma diminuição de 6%, relativamente a 2010, os valores da quantidade de resíduos urbanos produzidos continuam superiores aos impostos pelo PERSU II, isto é, 4,768 Mt ^[7].

Tal como é observável na Figura 5, em Portugal a produção de RU *per capita*, em 2011, foi de 487 kg/hab/ano, que corresponde a de cerca de 1,33 kg/hab/ dia (Figura 5).

Entre 2007 e 2008, observou-se um aumento significativo da produção de RU por habitante em Portugal (cerca de 10 %), registando-se valores de 468 e kg/hab/ ano, respetivamente. Entre 2008 e 2010 verificou-se uma estagnação nos valores de RU produzidos, no entanto a partir de 2010 observou-se uma diminuição considerável dos mesmos valores. Apesar de em Portugal se terem registado valores superiores aos da UE, de produção de RU por habitante, entre 2008 e 2010, em 2011 tal não se verifica, o que poderá estar relacionado com a evidente diminuição da atividade económica, em resultado da crise que o país está a atravessar.

1.2.3 COMPOSIÇÃO FÍSICA DOS RESÍDUOS URBANOS

A composição física dos resíduos urbanos pode ser afetada por diversos fatores, tais como as características da população e seus hábitos assim como as condições climáticas; os principais fatores estão representados na Figura 7.



Figura 7- Principais fatores que influenciam a composição física dos resíduos urbanos em Portugal.

A composição física dos resíduos urbanos produzidos em Portugal Continental e na Região Autónoma da Madeira em 2010 é apresentada na Figura 8.

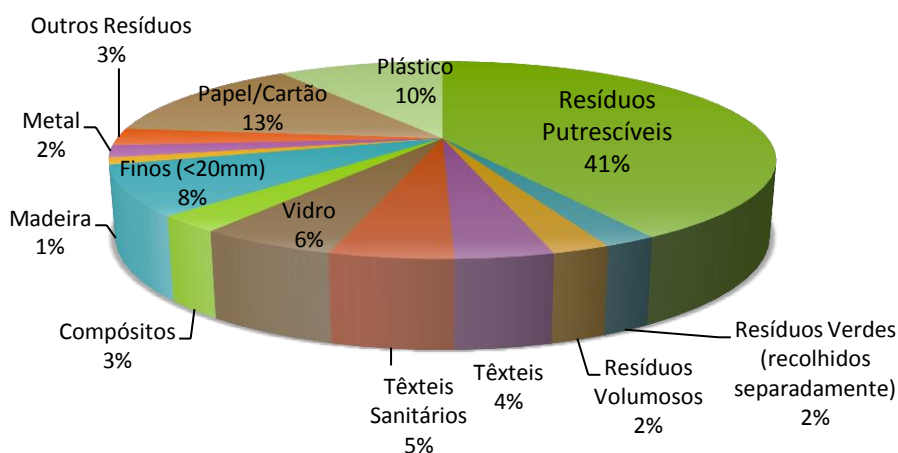


Figura 8- Composição física média dos resíduos urbanos em Portugal Continental e na Região Autónoma da Madeira, em 2010 (Adaptado de APA ^[9]).

A análise da Figura 8 permite verificar que os biorresíduos (resíduos putrescíveis e resíduos verdes recolhidos separadamente) representam a maior quantidade da composição física média dos resíduos urbanos, aproximadamente 43 %. Em percentagem menor mas igualmente significativa surgem o papel/cartão e os plásticos com 13 % e 10 %, respetivamente.

1.2.4 OPERAÇÕES DE GESTÃO DOS RESÍDUOS URBANOS

A hierarquia da gestão de resíduos, a Diretiva 2008/98/CE, transposta pelo Decreto – Lei nº 73/2011, estipula que a prevenção de resíduos deverá constituir a primeira prioridade da gestão de resíduos, sendo que a reutilização e a reciclagem de materiais deverão ter preferência em relação a outras formas valorização dos resíduos (como a energética) desde que constituam as melhores opções do ponto de vista económico e ambiental. A eliminação (deposição em aterro, para o caso dos resíduos urbanos) deve ser a última opção na gestão de resíduos e apenas deve ser executada com a porção dos resíduos que não podem ser reutilizados nem possuem possibilidades de valorização sendo sempre acompanhada por um processo de tratamento prévio, para minimizar o impacte ambiental e na saúde pública. A pirâmide hierárquica da gestão de resíduos encontra-se representada na Figura 9, sendo que a base da pirâmide representa a opção menos favorável (eliminação) e o topo a mais favorável (prevenção).



Figura 9- Hierarquia de gestão de resíduos.

As operações de gestão vocacionadas para a recolha dos resíduos produzidos subdividem-se em recolha indiferenciada e recolha seletiva. As quantidades afetas a cada um dos dois tipos de recolhas encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1- Quantidade de resíduos urbanos geridos, indiferenciada e seletivamente, em 2011 ^[9].

Região	Produção de Resíduos (t)		
	Recolha Indiferenciada	Recolha seletiva	Total
Portugal	2 978 439	777 786	5 138 645
Continente	2 749 843	747 676	4 879 939
Região Autónoma dos Açores	118 952	12 742	131 694
Região Autónoma da Madeira	109 644	17 368	127 012

Pela análise da Tabela 1 conclui-se que cerca de 85 % dos resíduos urbanos produzidos em Portugal no ano de 2011 (aproximadamente 5,1 Mt) são recolhidos indiferenciadamente, pelo que apenas uma pequena fração é atualmente separada.

Os resíduos urbanos recolhidos seletivamente, de acordo com o tipo de recolha, entre 2007 e 2011, são ilustrados na Figura 10.

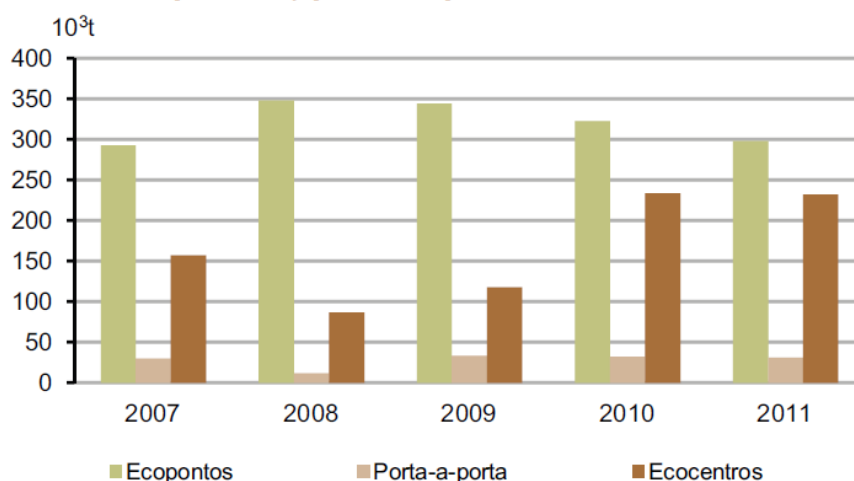


Figura 10- Resíduos urbanos recolhidos seletivamente, por tipo de recolha [8].

A análise destes valores é de importância extrema, no sentido de se avaliar os sistemas de gestão e de se formular uma linha de orientação para se atingirem os objetivos e metas propostas para a reutilização e reciclagem de materiais.

A quantidade de resíduos urbanos geridos por cada operação de gestão, entre 2007 e 2011, é exposta na Tabela 2. A percentagem de resíduos urbanos encaminhados para as diferentes operações de gestão em Portugal continental é apresentada na Figura 11.

Tabela 2- Quantidade de resíduos urbanos geridos por operação de gestão [8].

	Quantidade de Resíduos Urbanos (t)				Total
	Aterro	Valorização Energética	Valorização Orgânica	Valorização multimaterial	
2007	3 170 430	947 902	321 038	527 902	4 967 273
2008	3 530 220	992 963	382 025	566 547	5 471 844
2009	3 341 707	1 082 831	423 515	658 214	5 496 267
2010	3 380 815	1 058 376	398 593	619 354	5 457 137
2011	3 020 857	1 091 250	433 219	593 318	5 138 645

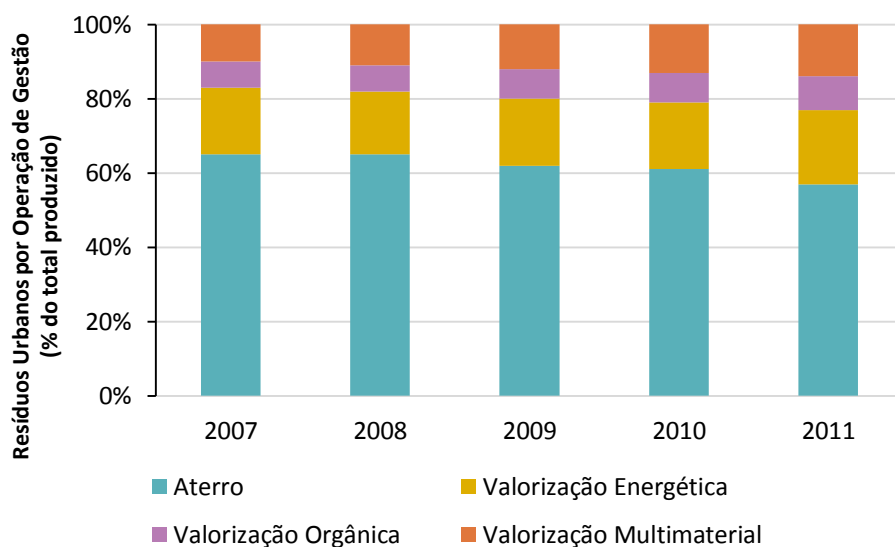


Figura 11- Resíduos urbanos encaminhados para as diversas operações de gestão em Portugal continental ^[9].

Analisando a Figura 11, verifica-se que em 2011 a deposição em aterro foi o destino final mais utilizado para os resíduos urbanos, cerca de 58 %, o que corresponde a um decréscimo de 3 % relativamente ao ano anterior. Analisando a evolução das quantidades de resíduos urbanos afetadas a cada uma das operações de gestão verifica-se que o principal fator de influência é a quantidade total de resíduos produzidos, que se reflete na oscilação observada entre 2007 e 2011, no entanto o desvio de resíduos para valorização orgânica e energética aumentou em 2011, o que se reflete também na diminuição da quantidade de resíduos depositados em aterro. Entre 2009 e 2010 registou-se um aumento de 1 % da quantidade de resíduos enviados para aterro. Em oposição, em 2011 depositaram-se em aterro menos cerca de 300 mil toneladas de resíduos que em 2010 (Tabela 2), o que corresponde a um decréscimo de 3 % (de 61 % em 2010 para 58% em 2011)^[9].

Relativamente às restantes operações de valorização, em 2011, a incineração com recuperação de energia apresenta um valor de 20%, a valorização multimaterial 14% e a valorização orgânica (compostagem e digestão anaeróbia) 8 %. Relativamente a 2010 observou-se um aumento da quantidade de resíduos encaminhados de 2%, 1% e 1%, respetivamente.

Tal como já referido anteriormente, o PERSU II estabeleceu metas relativamente à valorização de resíduos urbanos biodegradáveis, no entanto, apesar de se ter

verificado uma pequena evolução (cerca de 1% por ano entre 2008 e 2011), a valorização orgânica ainda não tem uma importância significativa no desvio dos resíduos urbanos de aterro, sendo o destino de apenas 8 % dos resíduos urbanos produzidos (Figura 11).

Destino final dos resíduos urbanos biodegradáveis, em 2011, é ilustrado na Figura 12.

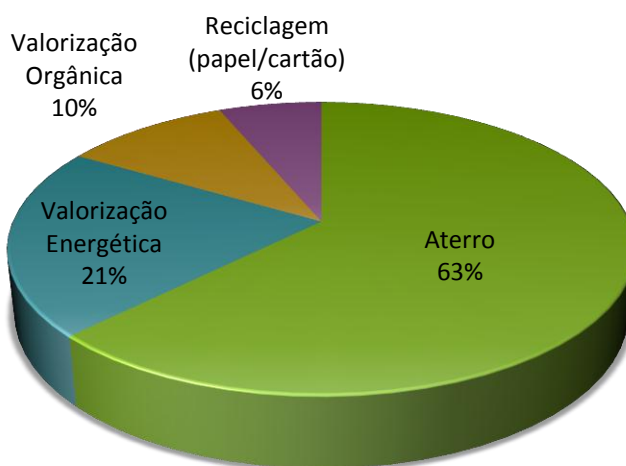


Figura 12-Destino final dos resíduos urbanos biodegradáveis em 2011 ^[9].

Em 2011, os resíduos urbanos biodegradáveis representavam cerca de 54 % da produção global de resíduos urbanos, isto é, 2,620 Mt. Tal como é visível na Figura 12, cerca de 63 % dos resíduos urbanos biodegradáveis tiveram como destino final a deposição em aterro (1,651 Mt), 21 % foram energeticamente valorizados (0,550 Mt), 10 % sofreram valorização orgânica (0,262 Mt) e 6 % sofreram reciclagem material (0,157 Mt) ^[9].

No Decreto – Lei nº 73/2011 de 17 de Junho, atendendo à hierarquia da gestão dos resíduos são estabelecidas metas a alcançar até 2020. Deve ser registado um aumento de pelo menos 50 % (em peso) relativamente à preparação para a reutilização e a reciclagem de resíduos urbanos, incluindo o papel, o cartão, o plástico, o vidro, o metal, a madeira e os resíduos urbanos biodegradáveis e um aumento mínimo para 70 % (em peso) relativamente à preparação para a reutilização, a reciclagem e outras formas de valorização material, incluindo operações de enchimento que utilizem resíduos como substituto de outros materiais, resíduos de construção e demolição não

perigosos, com exclusão dos materiais naturais definidos na categoria 17 05 04 da Lista Europeia de Resíduos, LER, isto é solos e rochas que não contêm substâncias perigosas.

Relativamente ao PERSU II, na Tabela 3 são apresentados os limites admissíveis em aterro, de resíduos urbanos biodegradáveis, para os anos de 2011, 2012 e 2016. A quantidade foi projetada tendo em conta os resíduos urbanos biodegradáveis produzidos no ano de 1995.

Tabela 3- Metas de desvio de resíduos urbanos biodegradáveis em Portugal (Adaptado de PERSU II. 2007-2016 ^[10])

Resíduos Urbanos Biodegradáveis	2011	2012	2016
Limites admissíveis			
(% dos produzidos em 1995)	50	50	35
Quantidade admissível (10⁶ t)	1,126	1,126	0,788
Quantidade a valorizar (10³ t)	1,720	1,717	1,977

Tendo em conta a quantidade de resíduos urbanos biodegradáveis depositados em aterro em 2011 (1,651 milhões de toneladas) e analisando a Tabela 3, verifica-se que os valores estipulados pelo PERSU II não estão a ser cumpridos, uma vez que a meta era a deposição de 1,126 milhões de toneladas.

No Decreto – Lei nº 183/2009, de 17 de Junho, são redefinidas as metas de redução da quantidade de resíduos urbanos biodegradáveis depositados em aterro, para os anos de 2013 e 2020, para 50 % e 35 % da quantidade total de RUB produzidos em 1995, respetivamente.

Esta constatação revela a necessidade de adotar ou reforçar ações mitigadoras e de contingência, numa perspetiva de serem alcançadas as metas estabelecidas para 2016. A valorização dos resíduos urbanos biodegradáveis deve ser um parâmetro a explorar com mais intensidade, nomeadamente através do incentivo ao aumento da valorização orgânica em baixa, isto é, através de compostagem doméstica, em escolas e a nível municipal e à otimização dos sistemas de valorização orgânica em alta já existentes. O início do funcionamento das unidades de valorização atualmente em construção, previstas para 2012/2013, permitirá o aumento em cerca de 0,4 milhões

de toneladas de resíduos urbanos biodegradáveis valorizados por ano, o que permitirá aproximar os valores das metas estabelecidas pelo Decreto – Lei nº 183/2009 para 2013.

1.3 GESTÃO E VALORIZAÇÃO DE BIORRESÍDUOS

No contexto da hierarquia da gestão dos resíduos as políticas têm vindo a ser alteradas no sentido da diminuição da quantidade de resíduos biodegradáveis encaminhados para aterro. Este objetivo pode ser atingido através da valorização orgânica aeróbia e/ou anaeróbia dos resíduos.

A valorização orgânica aeróbia, vulgarmente conhecida por compostagem, representa o tratamento orgânico mais comum e caracteriza-se por ser uma tecnologia de elevada flexibilidade operacional, ou seja, que consiste num processo em que se atinge uma elevada eficiência a um custo reduzido.

Assim, a compostagem constitui uma solução apropriada por permitir redução dos custos de deposição em aterro e por produzir um corretivo orgânico de solos, o composto.

A digestão anaeróbia (biometanização) consiste na decomposição da matéria orgânica realizada na ausência de oxigénio por uma comunidade de microrganismos. A matéria orgânica é convertida em biogás (fundamentalmente mistura de CH₄ e CO₂), que pode ser utilizado para produção de energia elétrica e aquecimento. Este tratamento é particularmente flexível, estando normalmente associado ao tratamento de lamas e resíduos agrícolas ^[3].

A valorização dos biorresíduos é atualmente também possível de ser efetuada através de um sistema integrado, onde são combinados os processos de biometanização e de compostagem. Esta tecnologia possibilita a recuperação de biogás, que pode ser usado como fonte de energia, e após digestão, o digerido é utilizado para a produção de um composto, que pode ser utilizado como corretivo orgânico de qualidade (dependendo dos resíduos usados) ou como combustível derivado de resíduos, CDR, entre outros ^[12].

A seleção do processo de tratamento dos biorresíduos mais adequado deve atender a diversos parâmetros, como a composição física dos resíduos, as características demográficas do local de abrangência e os recursos financeiros.

1.3.1 COMPOSTAGEM. PERSPETIVA HISTÓRICA

A degradação biológica da matéria orgânica é um processo que ocorre naturalmente no meio ambiente, envolvendo a vegetação morta, dejetos de animais e animais mortos, designando-se normalmente por Compostagem Natural. Este fenómeno explica-se pelo facto dos resíduos orgânicos serem materiais ricos em substâncias energéticas e nutritivas, permitindo a rápida colonização por microrganismos decompositores que na presença de oxigénio os decompõem ^[14].

Com esta constatação, o Homem tem vindo desde há muitos anos a usufruir deste processo, acumulando os resíduos produzidos quotidianamente em pilhas, onde estes iam sendo decompostos de uma forma pouco controlada ^[13]. As primeiras referências ao processo de compostagem são encontradas na Bíblia ^[14]

Atualmente, a valorização orgânica de resíduos por compostagem é cada vez mais uma solução atrativa, no sentido de responder à crescente preocupação com questões ambientais e à consequente legislação formulada.

No Anexo I é apresentada uma perspetiva histórica mais detalhada do processo de compostagem.

1.3.2 CONCEITOS

O conceito de compostagem sofreu infinitas alterações até à obtenção de uma definição que melhor a caracterizava, que se ia reformulando possivelmente à medida que os vários autores aprofundavam os seus estudos; no entanto, não existe uma definição universal de compostagem.

Haug ^[18] define compostagem como “a decomposição e estabilização de substratos orgânicos, quando sujeitos a condições que permitam atingir temperaturas

termofílicas decorrentes do calor produzido biologicamente, resultando um produto final estável, livre de agentes patogénicos e de sementes e que é benéfico quando aplicado no solo”. O mesmo autor refere ainda que a compostagem aeróbia consiste na “decomposição de substratos orgânicos na presença de oxigénio, da qual resultam os subprodutos dióxido de carbono (maioritariamente), água e calor”.

De forma semelhante, Tchobanoglous et al. ^[19], define compostagem como “um processo em que ocorre biodegradação da matéria orgânica, obtendo-se um produto final estável”. Já para Pereira Neto ^[20], a compostagem define-se como “um processo aeróbio controlado, onde crescem populações de microrganismos, conciliando etapas de atividade mesofílicas e termofílicas, compreendendo duas fases, a fase ativa e a fase de maturação. Na fase ativa ocorrem intensas reações bioquímicas de degradação, onde a taxa de arejamento é fundamental e a fase de maturação que se caracteriza pela ocorrência dos processos de humificação, possibilitando a obtenção de um produto final seguro e estável”.

Ao longo do processo de compostagem, os diferentes microrganismos intervenientes executam ações consecutivas que transformam (decompõem) os substratos orgânicos. A extensão e a taxa de transformação dependem das características do material e das condições promovidas durante o processo de compostagem ^[21].

A velocidade de decomposição dos substratos orgânicos é influenciada pela presença de oxigénio e pelo teor em humidade, no entanto parâmetros como a temperatura (muito usada para monitorizar o processo) e nutrientes (fundamentalmente carbono e azoto) também influenciam o desenvolvimento do processo ^[23].

O produto final de um processo de compostagem, o composto, é normalmente rico em matéria orgânica e com considerável teor de nutrientes, o que o torna adequado para aplicação em solos, atuando como corretivo orgânico. A sua utilização aumenta a capacidade de retenção e infiltração de água em solos arenosos, melhorando as suas propriedades biológicas e físico-químicas ^[22]. Em solos argilosos, a sua aplicação permite aumentar o arejamento e conseqüentemente a capacidade de infiltração de água ^[24].

1.3.3 DESCRIÇÃO GERAL DO PROCESSO

Segundo Cunha Queda ^[25], num sistema de compostagem podem ser consideradas três etapas distintas: preparação dos materiais, compostagem (fase ativa e fase de maturação) e afinamento do composto. A preparação dos materiais envolve o seu pré-processamento, ou seja, ocorre a separação da fração orgânica dos contaminantes e são criadas as condições ótimas para o desenvolvimento do processo de compostagem (normalmente fragmentação e mistura). Tal como se pode observar na Figura 13, a compostagem propriamente dita é iniciada após a mistura de materiais e da sua disposição em pilha ou em reator, conforme o sistema selecionado. Posteriormente ocorre a fase ativa do processo onde a matéria orgânica é degradada com a libertação de calor, vapor de água, dióxido de carbono (CO_2) e outros gases, e onde se distingue uma grande quantidade de microrganismo termófilos. O processo é finalizado pela fase de maturação, na qual o composto é estabilizado, ocorrendo uma desaceleração da atividade microbiana e uma diminuição da temperatura para valores próximos da temperatura ambiente. A etapa de afinação do composto é realizada para remoção de contaminantes inertes ainda existentes e para melhorar as características granulométricas do composto, que apresenta características semelhantes ao húmus (fração orgânica do solo). Quando desenvolvido sob condições ideais, permite a redução de cerca de 40 % do teor de humidade, entre 20 e 60 % de volume e até 50 % de redução de peso ^[26].

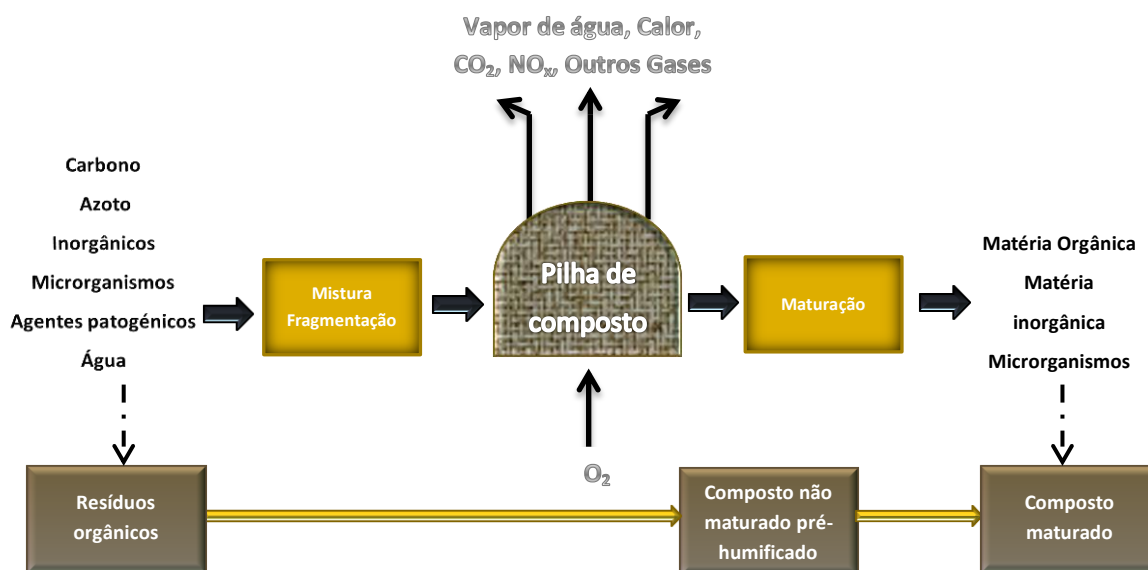


Figura 13 - Esquema geral do Processo de Compostagem (Adaptado de Rynk, R. et al. ^[14] e de Santos, L.M.d.C. ^[23]).

As várias fases do processo de compostagem podem ser diferenciadas pela análise das variações de temperatura que se verificam, apresentando um perfil típico de temperatura. A Figura 14 ilustra a variação típica da temperatura e de pH em cada uma das respetivas fases do processo de compostagem ao longo do tempo.

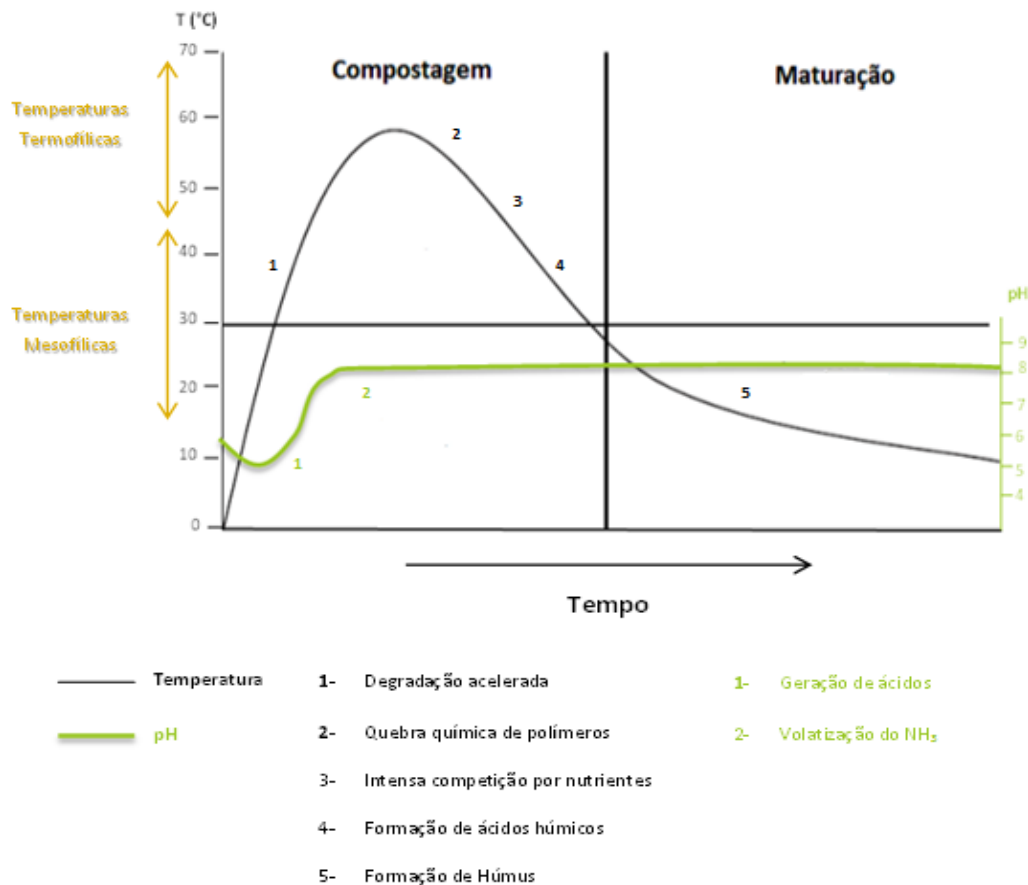


Figura 14 - Variações de temperatura e pH ao longo do processo de compostagem (Adaptado de Epstein, E. ^[21] e Martinho, M. & M. Gonçalves, ^[27])

Na Figura 14 é apresentada evolução da temperatura e do pH durante um processo global de compostagem com a distinção clara entre os subprocessos de compostagem e de maturação, tal como é definido por Epstein ^[22].

Normalmente, todos os processos de compostagem envolvem fases mesofílicas e termofílicas. Estes conceitos advêm da gama de temperaturas em que se sucede a atividade microbiana e do próprio processo exotérmico de decomposição, no entanto a associação entre o tipo de microrganismos predominantes nos processos e a

temperatura permite alargar a definição à gama de temperaturas no processo de compostagem^[17].

A fase inicial do processo, denominada fase mesófila, compreende um período de adaptação dos microrganismos existentes no material, onde a população microbiana heterogénea e heterotrófica (bactérias e fundos mesófilos) se multiplica intensamente. Durante este período, que tem uma duração de 2 a 3 dias, são degradados os compostos biodegradáveis mais simples presentes nos resíduos, como açúcares, amidos, celulosas simples e aminoácidos. Ocorre uma hidrólise ácida e há uma elevada atividade metabólica caracterizada por processos exotérmicos que elevam rapidamente a temperatura do meio, desde a temperatura ambiente até cerca de 40°C^[24]. Este metabolismo origina a produção de ácidos orgânicos que provocam inicialmente uma diminuição do pH para valores compreendidos entre 4,5 e 6, tal como é visível na Figura 14^[28]. Segundo Kreith & Tchobanoglous^[29], as características dos resíduos podem influenciar a duração desta fase do processo. No caso de compostagem de resíduos frescos de jardim, como aparas de relva cortada e de materiais fortemente putrescíveis o período é menor, em casos de folhas secas e resíduos com maior resistência, como serradura de madeira e palha, o período será maior.

Segundo Diaz et al.^[30], a quantidade inicial de microrganismos mesófilos no substrato é cerca de três vezes superior à quantidade de microrganismos termófilos. Com o aumento de temperatura até aos 40 °C, a flora microbiana altera-se, através de uma seleção natural devida essencialmente à temperatura, verificando-se o término da atividade dos organismos mesófilos, sobrevivendo apenas os esporos que suportam elevadas temperaturas^[30].

Assim, verifica-se uma proliferação dos microrganismos termófilos e por isso se denomina esta fase de fase termofílica ou de “*decomposição intensiva*”. Nesta fase, considerada por alguns autores, caso de Haug^[18], como a primeira fase de compostagem, são atingidas temperaturas entre os 40 °C e os 70 °C^[19]. Concomitantemente são atingidos valores de pH predominantemente alcalinos,

compreendidos entre 7,5 e 9, por metabolização dos ácidos orgânicos formados na fase mesófila (Figura 14).

Os organismos termófilos decompõem rapidamente a matéria orgânica, como gorduras, hemicelulose e celulose, e conduzem a uma estabilização e higienização eficiente dos materiais, isto é, levam à eliminação de odores incómodos e à destruição de agentes patogénicos^[18] ^[31].

O desenvolvimento desta fase implica a satisfação das necessidades de oxigénio e de água, produzindo-se dióxido de carbono, amoníaco, água e outros metabolitos intermédios. Simultaneamente é também libertado calor, o que provoca o aumento gradual da temperatura.

À medida que as fontes de energia se tornam escassas para os agentes termófilos, a intensidade dos processos metabólicos diminui e a temperatura retorna a valores mais baixos, o que possibilita a renovação das populações microbianas predominantes^[31], desenvolvendo-se novamente a atividade de microrganismos mesófilos, permitindo o prolongamento do processo de degradação por tempo suficiente para que seja obtido um composto de qualidade. No decorrer desta fase ocorre a transformação progressiva de moléculas complexas, de degradação mais lenta, como a lenhina e a celulose em colóides húmicos, associados a elementos minerais^[22].

A duração desta fase depende da temperatura, humidade, composição da matéria orgânica (concentração de nutrientes) e condições de arejamento^[31].

Tal como se ilustra na Figura 13, como produtos finais do processo global de compostagem obtém-se CO₂, água, matéria inorgânica e matéria orgânica estabilizada, o composto.

Tal como já referido, um processo de compostagem envolve várias fases, nomeadamente a decomposição e a maturação da matéria orgânica. Na Figura II-1 (Anexo II) encontram-se esquematizados os acontecimentos ocorridos durante essas fases.

Segundo Cunha Queda^[25], citando Vallini^[33], de uma forma genérica o processo de compostagem tem como objetivo principal a obtenção de um produto biologicamente

e quimicamente estável, maturado e que seja adequado à aplicação como corretivo orgânico de solos, isto é, que não apresente características de fitotoxicidade, tornando a sua aplicação uma mais-valia em processos agrícolas. Paralelamente, o processo permite a redução do volume e massa, a desativação de organismos patogénicos existentes nos resíduos (higienização) e a eliminação de maus odores.

1.3.4 MATÉRIA ORGÂNICA PARA COMPOSTAGEM

Num processo de compostagem o fator preponderante são as características físicas, química e biológicas do substrato que se pretende tratar, uma vez que influenciam o desenvolvimento de todo processo. As características físicas do substrato (granulometria, resistência e massa volúmica) estão relacionadas com a porosidade, estrutura e textura da mistura inicial ^[25].

A suscetibilidade dos substratos orgânicos à decomposição por microrganismos e consequentemente a durabilidade do processo de compostagem são determinadas pela composição físico-química destes, tornando este parâmetro de extrema importância num processo de compostagem. Materiais com elevada quantidade de celulose e lenhina e pouca quantidade de compostos de azoto necessitam de um tempo de degradação mais elevado ^[34].

Segundo Cordeiro ^[35] citando Mustin ^[36], os resíduos para compostagem podem ser classificados de acordo com a sua origem e a sua composição física e química. Essa classificação é apresentada na Tabela 4.

Tabela 4- Classificação dos resíduos ara compostagem ^[35].

Classificação quanto à natureza química
<ul style="list-style-type: none"> • Resíduos Orgânicos <ul style="list-style-type: none"> • Ricos em Carbono • Ricos em Azoto • Resíduos minerais (adjuvantes de compostagem) <ul style="list-style-type: none"> • Resíduos Básicos (calcários, Cinzas) • Sais Residuais (carbonato de cálcio, sulfatos, fosfatos)
Classificação quanto ao estado físico
<ul style="list-style-type: none"> • Resíduos Sólidos (RSU, madeira, palha, lamas desidratadas) • Resíduos Semi-Sólidos (lamas de tratamento de efluentes) • Resíduos Líquidos (efluentes agroalimentares, lamas frescas líquidas)
Classificação quanto à origem
<ul style="list-style-type: none"> • Resíduos provenientes da atividade doméstica <ul style="list-style-type: none"> • RSU • Resíduos provenientes do setor da distribuição e serviços <ul style="list-style-type: none"> • Resíduos orgânicos do comércio alimentar • Resíduos provenientes do setor primário <ul style="list-style-type: none"> • Resíduos da atividade agrícola (palha, estrume) • Resíduos de indústrias extrativas (fosfatos, calcário) • Resíduos provenientes do tratamento de efluentes líquidos e gasosos <ul style="list-style-type: none"> • Lamas de tratamento de águas residuais (agroalimentares, adegas e lagares)

A quantidade e a diversidade de substratos potencialmente adequados para a compostagem é bastante elevada. Na Figura III-1 do Anexo III encontram-se discriminadas as atividades das quais resultam alguns resíduos que apresentam características que os tornam adequados para compostagem.

No âmbito deste trabalho serão abordados mais aprofundadamente os resíduos verdes, visto serem uma fração dos resíduos urbanos com muita representatividade e com grandes potencialidades num processo de compostagem.

1.3.4.1 Resíduos Verdes

Tal como já referido no *subcapítulo 1.1*, os resíduos verdes são provenientes da manutenção de jardins e espaços públicos, o que torna a sua composição e as quantidades produzidas muito variadas, dependendo das estações do ano, do clima, da população abrangida e pelas estratégias de gestão de resíduos.

Ham & Komilis ^[37] e Benito et al. ^[38] relataram nas suas publicações estudos sobre a caracterização especificada de resíduos verdes para EUA e Espanha, respetivamente. Já Williams ^[39] realizou a caracterização de diferentes frações de resíduos verdes. Os estudos envolviam a caracterização da matéria orgânica através da análise dos teores de carbono, azoto e da consequente razão C/N.

Num estudo realizado por Bary et al. ^[40] durante a primavera e o verão, nos EUA, foram recolhidas em quatro instalações de compostagem cinco vezes amostras de resíduos verdes. Entre as diferentes instalações observaram uma variação composicional, estando incluídos nos resultados analíticos uma vasta série de parâmetros físico-químicos. A principal fonte de variação composicional foi observada na relva cortada.

Já Ward et al. ^[41] realizaram a determinação do teor de matéria orgânica, cloro, carbono, azoto e potássio e a razão C/N, a partir de amostras recolhidas de nove instalações de compostagem no Reino Unido, durante um ano, tendo-se observado padrões sazonais para os teores de azoto e potássio.

Os resíduos verdes são normalmente utilizados em processos de compostagem como agentes estruturantes com o objetivo de aumentar a degradação da matéria orgânica, introduzindo alguns nutrientes essenciais para o crescimento microbiano, como o azoto. Alguns dos resíduos verdes mais utilizados como agentes estruturantes são folhas de jardim, resíduos de casca de arroz, e outros resíduos agrícolas como cascas de amendoim, palha ou feno ^[42].

Segundo de Guardia et al. ^[43] as aparas de relva, folhas e ervas daninhas são materiais com elevado teor em humidade e ricos em azoto, que possibilitam uma taxa de biodegradação maior. Já os ramos e galhos de árvores e arbustos, embora possam ser importantes como estruturantes, favorecendo o arejamento das pilhas de compostagem, apresentam uma taxa de degradação baixa.

Em regiões climatericamente temperadas a quantidade de resíduos verdes gerados apresenta um perfil sazonal típico, observando-se valores mínimos de produção em janeiro e fevereiro, quando o crescimento vegetal se encontra estagnado. Com o

aumento da temperatura verificado em março e abril, inicia-se o crescimento da relva, resultando a partir de abril até outubro grandes quantidades de aparas de relva, constituindo a maior componente dos resíduos verdes, no entanto observa-se um decréscimo da quantidade de aparas de relva durante os meses de julho e agosto devido ao fraco crescimento da relva relacionado com tempo seco, normalmente característico destes meses.

Em regiões com invernos mais rigorosos, as aparas de relva são geralmente produzidas entre maio e setembro e as folhas de árvores caducas são recolhidas entre setembro e dezembro e no início da primavera. Os ramos e galhos de árvores são característicos do início da primavera e outono.

Segundo Haug ^[18], de uma forma geral as aparas de relva constituem cerca de 70 % dos resíduos verdes, 25 % são folhas e os restantes 5 % constituem uma mistura de galhos e ramos de árvores e arbustos. As folhas e a relva apresentam caráter sazonal e geralmente um elevado teor em humidade. As folhas recolhidas no Outono possuem um elevado teor de carbono e baixo teor em azoto. Já as aparas de relva são caracterizadas pelo elevado teor em azoto e poderão ser responsáveis pela emissão de óxidos de azoto, se combinados com outros resíduos, em projetos de recuperação de energia. A estrutura natural das plantas herbáceas frescas degradam-se rapidamente e as mais maduras apresentam um tempo de degradação mais lento.

Os resíduos de jardim normalmente agrupam-se em quatro grupos com diferentes propriedades físicas, químicas e biológicas. As folhas, plantas herbáceas, ramos e galhos de arbustos, árvores e aparas de relva.

1.3.5 TECNOLOGIAS DE COMPOSTAGEM

O processo de compostagem deve ser sujeito a controlo para garantir a obtenção de um produto final higienizado e de elevada qualidade, ao mais baixo custo operacional possível. Como tal, foram desenvolvidos ao longo dos tempos várias tecnologias de compostagem.

No que respeita às dimensões e finalidade podem distinguir-se os sistemas de compostagem industrial, municipal e doméstica.

A compostagem doméstica é realizada em pequenas unidades de carácter familiar, usando compostores ou construindo pilhas de compostagem e é bastante vantajosa visto que diminui a quantidade de resíduos sob a responsabilidade dos sistemas de gestão e consequentemente diminuir os custos de recolha de deposição, tornando possível a produção de um composto de elevada qualidade quando o processo é bem realizado e sensibilizando as populações envolvidas para a problemática da gestão de resíduos.

A compostagem municipal é, tal como o nome indica, realizada pelos municípios com o objetivo de diminuir os custos com a deposição dos resíduos em aterro. Os resíduos utilizados são normalmente provenientes de recolhas seletivas de resíduos verdes e da fração orgânica dos resíduos urbanos. O composto produzido pode posteriormente ser usado como corretivo orgânico em jardins e espaços verdes municipais, reduzindo os custos da sua aquisição.

A compostagem industrial é efetuada em grande escala e normalmente apresenta tecnologias bastante mais complexas. Os resíduos orgânicos são recolhidos e transportados para unidades especializadas de compostagem industrial, onde são triados para separação dos materiais inertes do material orgânico, sofrendo depois processos de degradação, resultando num composto de elevada qualidade, uma vez que nestas unidades ocorre uma rigorosa monitorização dos parâmetros de controlo do processo de compostagem.

Relativamente às tecnologias de compostagem distinguem-se dois tipos de sistemas, os sistemas abertos e os sistemas fechados, onde normalmente se realiza a compostagem “acelerada”. Alguns autores, como Krogman & Körner ^[44], consideram que os sistemas fechados podem englobar compostagem em pavilhões e compostagem em reator.

As diferentes tecnologias de compostagem distinguidas por Epstein ^[22] encontram-se discriminadas na Tabela 5.

Tabela 5- Diversidade de sistemas de compostagem. (Adaptado de Epstein, E. ^[22]).

Sistemas Abertos
<ul style="list-style-type: none"> • Pilhas Revolvidas ou Leiras (compostagem em grande escala) <ul style="list-style-type: none"> • Arejamento Forçado • Ventilação Natural • Pilhas Estáticas <ul style="list-style-type: none"> • Arejamento Forçado • Ventilação Natural
Sistemas Fechados
<ul style="list-style-type: none"> • Reator Horizontal ou Inclinado <ul style="list-style-type: none"> • Túnel ("Cama" Estática) • Canais Abertos • Reator Vertical <ul style="list-style-type: none"> • "Cama Agitada" • Silo • Caixas de Compostagem

Quando a compostagem é realizada dentro de reatores é facilitado o controlo dos parâmetros que caracterizam o processo, isto é, a humidade, a temperatura, o arejamento, a porosidade, o pH e a razão C/N. Neste tipo de sistemas também é possível obter-se velocidades de decomposição maiores, tempos de retenção mais baixos e o controlo de odores é muito mais eficiente.

1.3.5.1 Sistemas Abertos

Segundo Batista & Batista ^[34], a compostagem em sistemas abertos pode ser classificada de acordo com o tipo de ventilação, natural ou forçada. Relativamente aos sistemas de compostagem com arejamento forçado podem distinguir-se os que sofrem ventilação positiva (insuflação de ar) e ventilação negativa (sucção de ar). Estes processos podem diferenciar-se quanto à existência ou não de revolvimento; sendo que o arejamento forçado normalmente implica o não revolvimento.

Assim, consideram-se sistemas abertos os processos de compostagem em pilhas de compostagem passiva, em pilhas ou leiras revolvidas e pilhas estáticas, com ventilação forçada ou natural ^[45].

A descrição pormenorizada dos sistemas de compostagem acima referidos é apresentada no Anexo IV.

1.3.5.2 Sistemas Fechados

Nos sistemas fechados a compostagem é maioritariamente realizada no interior de reatores de diferentes tipologias, onde os diversos parâmetros do processo como a temperatura, arejamento, humidade e até adição de nutrientes são controlados.

A classificação dos sistemas fechados não é consensual entre os diferentes autores. Cardenas & Wang ^[48], Epstein ^[22] e Diaz et al. ^[45] classificam os reatores para compostagem em reatores de fluxo vertical, fluxo inclinado e fluxo horizontal, podendo ainda ser de fluxo contínuo ou intermitente.

Segundo Shammass & Wang ^[49], os sistemas são classificados quanto à forma, em sistemas retangulares, cilíndricos, em contentor e em túnel. Dentro destes grupos os sistemas são subdivididos em horizontais e verticais.

Nos sistemas horizontais destacam-se a compostagem em canais, tambor rotativo e túnel e nos sistemas verticais a compostagem em silo. A descrição detalhada dos sistemas fechados referidos encontra-se no Anexo IV.

1.3.6 CONTROLO DO PROCESSO

O processo da compostagem é um processo complexo onde variados microrganismos são responsáveis pela degradação da matéria orgânica. Assim sendo, existem diversos parâmetros de extrema importância no desenvolvimento de um processo de compostagem e que determinam a existência de uma população microbiana diversificada. Os parâmetros e as interações mais importantes entre eles são esquematizados na Figura 15.

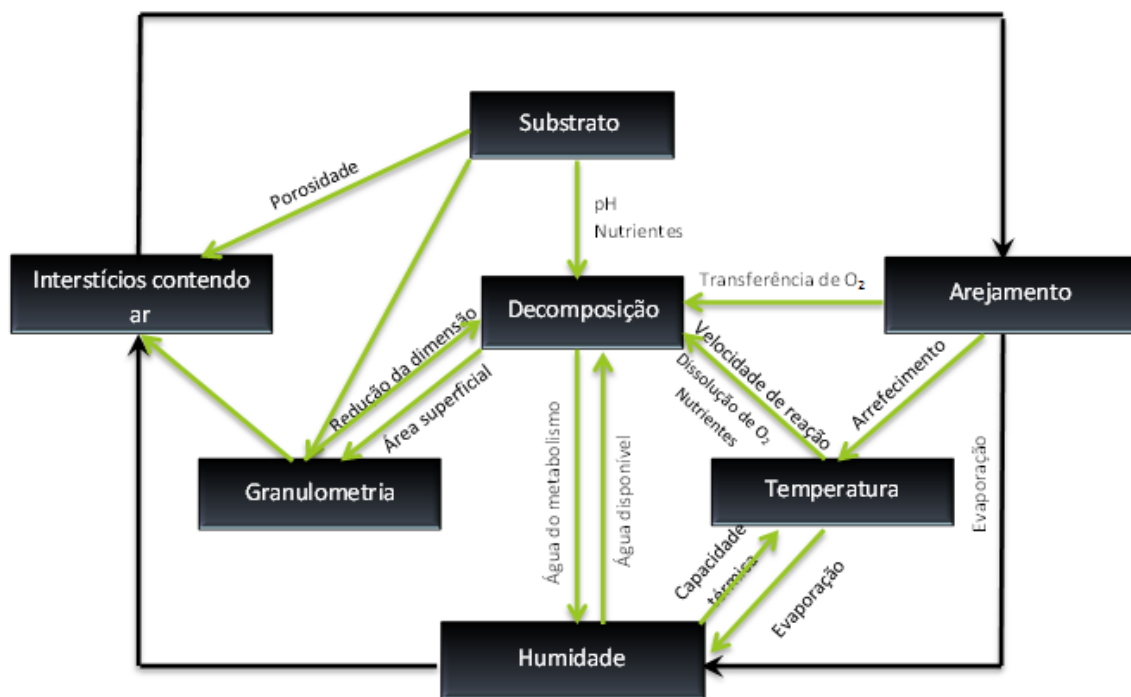


Figura 15 - Diagrama dos parâmetros mais importantes na decomposição da matéria orgânica num processo de compostagem (Adaptado de Cunha Queda, A.C.F.^[25])

1.3.6.1 Microrganismos

A compostagem é um processo maioritariamente biológico onde intervêm diversos microrganismos. Os microrganismos que se podem encontrar nos processos de compostagem são bactérias, fungos, actinobactérias, protozoários e vírus, sendo que os três primeiros são considerados os mais importantes^{[17] [19]}.

O desenvolvimento do processo de compostagem tem a si associado uma variação do tipo de microrganismos intervenientes. Na fase mesófila, ocorre a metabolização dos lípidos, dos açúcares e das proteínas por bactérias produtoras de ácido. Já na fase termofílica, as bactérias termofílicas são ativadas pelo aumento de temperatura e prosseguem a metabolização das proteínas, lípidos e gorduras presentes e são responsáveis pela energia produzida consequente libertação de calor. Os fungos e os actinomicetes são transversais às duas fases e são responsáveis pela destruição de uma grande diversidade de substratos orgânicos complexos e da celulose^[23].

No Anexo V são caracterizados os diversos microrganismos e é descrita a sua função no processo de compostagem. Tendo em consideração a obtenção de um composto de

qualidade, é essencial que durante o processo sejam eliminados os organismos patogénicos, raízes e sementes. Segundo Insam & Bertoldi ^[53], para que estes sejam destruídos a temperatura deve ser mantida entre 60 e 70 °C, durante pelo menos 24 horas. Já no Anexo III do documento das Especificações Técnicas sobre Qualidade e Utilizações do Composto ^[54], em pilhas revolvidas os resíduos devem ser submetidos a temperaturas superiores a 55 °C, durante pelo menos 4 semanas, para obtenção de um composto higienizado.

Já nos EUA, a Environmental Protection Agency (EPA), refere que para a redução significativa de microrganismos patogénicos, em qualquer sistema de compostagem, o material deve ser mantido a 40 °C, pelo menos 5 dias, e que se atinja os 55 °C durante um período de 4 horas. Uma redução complementar de patogénicos pode ser alcançada mantendo a temperatura nos 55 °C durante 3 dias, nos sistemas ventilados abertos ou fechados, sendo que no caso de pilhas estáticas os resíduos devem ser mantidos à mesma temperatura, durante 15 dias ^{[55] [56]}.

Na Tabela V-1 do Anexo V são apresentadas as condições de eliminação (temperatura e tempo de exposição) de alguns organismos patogénicos mais comuns em processos de compostagem.

1.3.6.2 Parâmetros Físicos

a. Temperatura

A temperatura é o parâmetro mais indicativo do equilíbrio biológico e o que melhor define a eficiência do processo compostagem. A produção de calor de um material é indicativo de atividade microbiana, logo este parâmetro carece de grande controlo. Este parâmetro é por isso o mais utilizado na avaliação do decurso do processo e da inatividade ou da destruição de organismos patogénicos durante a compostagem ^[25].

A produção de calor é dependente da velocidade de decomposição dos materiais, que por sua vez depende do teor de humidade, razão C/N da mistura, do arejamento, da forma e do tamanho da pilha de compostagem (que afeta o arejamento e dissipação de calor) e da temperatura no exterior, e do tipo de cobertura da pilha ^[57].

Tal como anteriormente referido e ilustrado na Figura 14, quando a matéria orgânica é disposta de forma que seja favorecida decomposição aeróbia, a temperatura começa a aumentar devido à acumulação de calor, desde a temperatura ambiente até aos 40 °C, predominando durante este período os microrganismos mesófilos. Durante a fase mesófila, Insam & Bertoldi ^[53] referem que é possível estabelecer uma relação linear entre o aumento da temperatura e a eficiência do processo e a sua velocidade.

A transição entre a fase mesófila e a fase termófila, segundo Insam & Bertoldi ^[53] ocorre entre os 35 e os 65 °C e segundo Kreith & Tchobanoglous ^[29], entre 35 e 55 °C. Esta transição é devida ao metabolismo dos vários organismos envolvidos e à sua adaptação face às condições precedentes. Para temperaturas superiores a 55 °C a velocidade e a eficiência do processo de compostagem diminuem, e tornam-se praticamente nulas para valores superiores a 70°C.

Segundo Mustin ^[36], as curvas de temperatura dependem da variação da disponibilidade de carbono e azoto nos materiais em compostagem. Ao longo do processo de compostagem de materiais constituídos por moléculas orgânicas facilmente degradáveis, como açúcares, ácidos orgânicos, proteínas e lípidos estas são totalmente degradadas, resultando numa fase mesófila inicial curta e sendo atingidas temperaturas muito elevadas na fase termófila. No caso dos materiais a compostar serem na sua maioria constituídos por moléculas mais complexas, como lenhina, celulose, pectinas, quitina, pode suceder-se uma fase mesófila inicial e uma fase termófila ser mais prolongadas, uma vez que estas moléculas apenas são parcialmente hidrolisadas, alcançando-se uma temperatura máxima mais baixa.

Segundo Batista & Batista ^[34], temperaturas compreendidas entre 50 e 60 °C são ótimas para o desenvolvimento do processo de compostagem, não se devendo permitir que estas sejam ultrapassadas, com exceção para pequenos intervalos, no máximo até 70 °C, para que seja atingido um elevado grau de higienização, eliminando todos os organismos patogénicos.

É extremamente importante que sejam atingidas e mantidas temperaturas termofílicas durante a fase de degradação da matéria orgânica, uma vez que permitem o desenvolvimento de uma população microbiológica mais diversificada, um aumento da

taxa de decomposição de matéria orgânica, e, são o mais importante mecanismo de inativação ou eliminação de microrganismos patogénicos e permitem a eliminação de sementes de ervas daninhas, ovos de helmintos e larvas de insetos ^[17].

Numa pilha em compostagem, as temperaturas desenvolvem-se do interior para o exterior e de forma decrescente com o perfil típico representado na Figura 16.

Quando se verifica um arrefecimento da pilha, depois de se terem atingido temperaturas termófilas, pode concluir-se que o processo de compostagem está numa fase final, iniciando-se a fase de maturação, ou que a pilha se tornou incapaz de conservar as condições aeróbias, o que ocorre por falta de humidade e arejamento.

O registo de temperaturas distintas dentro de uma pilha pode estar relacionado com a não homogeneização da mistura, que pode levar a uma decomposição díspar dos materiais. A existência de pontos frios na pilha pode ser indício de zonas de decomposição anaeróbia, caracterizadas pela libertação de maus odores e compostos fitotóxicos.

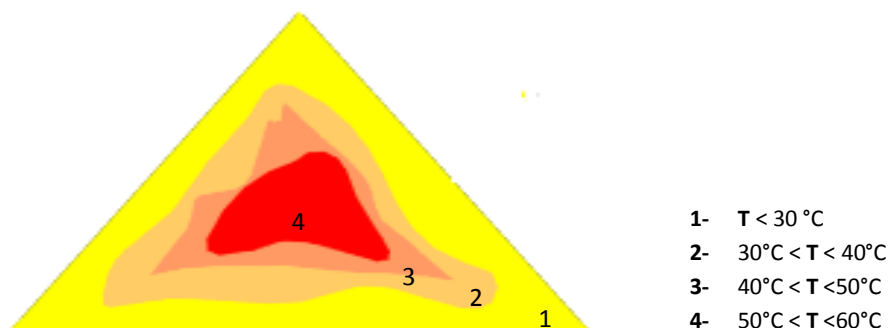


Figura 16 - Perfil típico de temperatura numa pilha de compostagem (Adaptado de Russo, M.A.T. ^[57])

b. Humidade

Tal como já referido, a decomposição da matéria orgânica depende esta relacionada com a atividade microbiológica, que é dependente da presença de humidade, como mecanismo de suporte, servindo como meio de transporte dos substratos solúveis utilizados pelos microrganismos e dos resultados das reações bioquímicas de degradação dos mesmos. A assimilação dos substratos pelos microrganismos

pressupõe a sua dissolução em água e para que possa haver multiplicação de células e crescimento das populações é necessária a obtenção de água do ambiente, neste caso do material a compostar, uma vez que na sua composição os microrganismos têm cerca de 80 % de água ^[17].

Durante o processo de compostagem o teor em humidade pode variar por dois motivos distintos. O teor em humidade pode ser aumentado pela produção de água pelos microrganismos aeróbios, durante a atividade metabólica e pode diminuir devido às perdas por evaporação, verificadas com o aumento da temperatura, da ventilação ou do revolvimento do material ^[34].

Assim, a perda de humidade durante o processo de compostagem depende da tecnologia de compostagem utilizada, da temperatura e das condições ambientais em que se desenvolve o processo.

Segundo uma pesquisa realizada por Fernandes ^[17], a generalidade dos autores considera que num processo de compostagem o teor de humidade mínimo não deve ser inferior a 40 %, visto que para valores abaixo se observa uma diminuição da atividade microbiológica, por desidratação da material. A atividade é praticamente nula para valores de humidade iguais ou inferiores a 20 %, o que resulta na produção de um material estável fisicamente mas instável biologicamente.

Por outro lado, quando o teor em humidade é superior a 60 %, a água “expulsa” o ar da maior parte dos interstícios existentes entre as partículas da material, reduzindo a oxigenação de todo o material, podendo originar condições de anaerobiose e limitando a atividade microbiológica ^[22]. Logo, o valor 60 % é genericamente considerado o valor máximo para o qual ainda não são desenvolvidas condições de anaerobiose, permitindo o desenvolvimento correto do processo.

Segundo Venglosky et al. ^[58], o valor ótimo de humidade inicial de uma pilha de compostagem deve estar compreendido entre 55 e 65 %. Já Hoornweg et al. ^[59] referem que se deve situar entre os 50 e 60 %. Pereira Neto & Stentiford ^[60] sugerem valores de 45 a 55 %. No entanto, os valores ótimos variam de acordo com o tipo de material.

Assim, durante todo o processo de compostagem a humidade deve ser mantida dentro dos limites ótimos para o desenvolvimento de reações biológicas, pois o declínio da atividade microbiana devido à desidratação do material pode induzir em erro, levando a crer que o material já se encontra estabilizado biologicamente.

No controlo da humidade em sistemas de compostagem atuais é frequente a adição de água durante o processo para controlo da humidade. Essa adição pode em alguns casos de instalações com elevados índices de geração de calor ser conjugada com arrefecimento.

Após a fase de maturação do composto, no final do processo, o teor de água deve ser reduzido, aproximadamente de 30 %, com o objetivo de impedir algum tipo de atividade biológica adicional no material estabilizado ^[61].

c. Arejamento

O arejamento num processo de compostagem tem como funções garantir as necessidades de oxigénio aos microrganismos aeróbios, remover o excesso de calor (especialmente por evaporação da água), remover o vapor de água, permitindo a secagem do material, e a remoção dos gases resultantes da decomposição (CO_2 , NH_3 , entre outros) do interior da massa de compostagem ^[17].

Este parâmetro deve colmatar as necessidades de oxigénio, o que assegura uma população variada de microrganismos aeróbios, uma rápida decomposição e estabilização da matéria orgânica e um melhor controlo de odores, uma vez que são as condições anaeróbias as responsáveis pela libertação de maus odores durante o processo de compostagem.

Quando os níveis de oxigénio não satisfazem as necessidades dos microrganismos aeróbios presentes na mistura, começam a proliferar os microrganismos anaeróbios até formarem uma população com um número de organismos superior, resultando no aumento dos processos de fermentação e respiração anaeróbia e originando a acumulação de compostos como ácidos orgânicos voláteis e sulfuretos, caracterizados

por um odor desagradável e com elevada fitotoxicidade. Assim, para que as atividades metabólicas não sejam alteradas, é fundamental que o fornecimento de oxigénio seja realizado de forma constante e periodicamente ^{[61] [29]}.

Segundo Kreith & Tchobanoglous ^[29], o estabelecimento de um modelo que permita a determinação de uma taxa de arejamento universal em projetos de instalações de compostagem não tem sido conseguido na comunidade científica, uma vez que este parâmetro é muito complexo e tem associados diversos fatores que o influenciam a necessidade de ar, como a temperatura, a humidade, a população microbiana e a disponibilidade de nutrientes. A determinação da quantidade de oxigénio também não é viável se for realizada apenas tendo em conta a relação com a oxidação do carbono, uma vez que o carbono não está totalmente disponível para sofrer degradação por microrganismos.

Tal como ilustrado na Figura 16, as temperaturas são bastante distintas entre as várias zonas de uma pilha de compostagem, podendo mesmo serem registadas temperatura com cerca de 30 °C de diferença entre a zona mais quente da pilha, o centro, onde os níveis de fornecimento de oxigénio são baixos e a zona mais fria, a camada superficial, que se encontra exposta ao ar e por isso a elevadas quantidades de oxigénio. No revolvimento de uma pilha deve ocorrer a transferência do material da camada superficial para a zona onde são atingidas temperaturas mais elevadas, isto é para o centro da pilha. Desta forma, o revolvimento permite a homogeneização do material, expondo-o na sua totalidade às mesmas condições.

Segundo Kreith & Tchobanoglous ^[29], em pilhas revolvidas, o revolvimento de 3 em 3 dias é considerado suficiente para responder ao consumo de oxigénio.

d. Controlo de Odores

O odor é um dos problemas mais críticos numa instalação de compostagem, visto ser praticamente impossível garantir a realização de um processo de compostagem sem a sua libertação.

Teoricamente, em processos de compostagem aeróbios não são produzidas substâncias odoríferas, contrariamente ao que sucede em processos anaeróbios. Contudo, na realidade podem ser libertados alguns odores devido a algumas tipologias de matérias-primas e devido ao próprio processo se não for desenvolvido em condições adequadas. Assim, podem distinguir-se três fontes principais de odores, a matéria-prima, os produtos metabólicos resultantes da degradação aeróbia (libertação de NH_3 pela degradação compostos ricos em azoto) e os produtos metabólicos resultantes de uma possível não controlável degradação anaeróbia que possa ocorrer [17].

O odor é um parâmetro indicativo do desenvolvimento do processo de compostagem. A monitorização das suas características como a intensidade e o tipo de cheiro torna-se importante, uma vez que é possível aferir alterações operacionais, a taxa de degradação da matéria orgânica, a estabilidade do material e a qualidade do composto final. Geralmente, a libertação de odores desagradáveis indica o desenvolvimento de condições anaeróbias e portanto a necessidade de ajustar as condições do processo, através do aumento da disponibilidade de oxigénio (arejamento).

Tendo em conta os diversos fatores associados à libertação de odores, é muito difícil efetuar a previsão das suas emissões em unidades de compostagem, no entanto é crucial o estudo da tendência das matérias-primas utilizadas à libertação de substâncias odoríferas.

Assim, para uma correta avaliação da libertação de odores numa instalação devem ser considerados a quantidade de resíduos a compostar e a sua composição física e química, o tipo de tecnologia de compostagem, a duração do processo e a temperatura do material em decomposição [50]. No entanto, existem atualmente métodos capazes de quantificar o odor em centrais de compostagem, como as medições de olfatometria (EN 13725:2003) ou a análise da incomodidade de odores (VDI 3940).

e. Estrutura e Granulometria

A porosidade, a estrutura e a textura da matriz inicial de resíduos dependem das características físicas dos materiais que a constituem, como o formato, a dimensão e a resistência à compactação. Estas características podem influenciar o processo de compostagem principalmente no que respeita ao arejamento. Outra característica importante é a massa volúmica da mistura que, em simultâneo com as outras características, nos pode indicar a possível compactação do material ^[25].

O início do processo de decomposição das partículas ocorre à sua superfície, onde existe grande quantidade de oxigénio difundido na película de água que as circunda. Assim, quanto maior a superfície específica mais rapidamente ocorre degradação, por isso as partículas mais pequenas são decompostas mais rapidamente, em condições ideais de arejamento ^[56]. Apesar de o grau de decomposição e a área superficial aumentarem com a diminuição da dimensão das partículas, a excessiva redução do tamanho pode reduzir a porosidade do material, dificultando a circulação do ar pelos seus interstícios.

Estas propriedades podem ser corrigidas através de operações de fragmentação do material ou da mistura destes com materiais de suporte ou agentes estruturantes ^[25].

O tamanho das partículas de resíduo, num processo de compostagem é referenciado por diversos autores. Na Tabela 6 encontram-se resumidos alguns desses valores.

Tabela 6- Tamanho ideal das partículas num processo de compostagem.

Tamanho médio das partículas (cm)	Resíduos	Referência
1,2 a 7,0	Resíduos predominantemente lenhino-celulósicos	Díaz, L.F. et al. ^[63]
5,0 a 15,0	Resíduos verdes	
2,0 a 5,0	Resíduos em geral	Epstein, E. ^[22]
1,3 a 7,6	Resíduos em geral	Batista, J.G.F. & E.R.B. Batista ^[34]
2,0 a 7,0	Resíduos em geral	Felícia, D.G. ^[64]
1,3 a 5	Resíduos fibrosos	Kreith, F. & G. Tchobanoglous ^[29]
5 a 15	Resíduos verdes muito frescos	

No Anexo V apresenta-se uma descrição dos conceitos de porosidade estrutura e textura da matriz inicial de resíduos e uma revisão bibliográfica sobre o tamanho ideal das partículas, que serve de apoio à Tabela 6.

1.3.6.3 Parâmetros Químicos

Os principais parâmetros químicos associados às matérias-primas envolvidas num processo de compostagem e que afetam a qualidade do produto final são a concentração de nutrientes, os metais pesados e os sais.

a. Nutrientes

Os nutrientes possuem como funções fundamentais o fornecimento de produtos necessários à síntese celular e de energia essencial ao crescimento e desenvolvimento dos microrganismos. Funcionam também como recetores de eletrões nos processos de oxidação de matéria orgânica que libertam energia para os organismos.

A diversidade biológica depende da diversidade de nutrientes presentes nas matérias-primas. Quanto maior a diversidade de compostos orgânicos maior será a diversidade dos nutrientes disponíveis para as populações microbianas e mais eficaz será o processo de compostagem ^[20].

Apesar de os nutrientes estarem disponíveis em grandes quantidades nos materiais orgânicos, não se encontram por vezes na forma que possibilita a sua assimilação direta pelos microrganismos, não se encontrando por isso disponíveis. Desta forma, é essencial ter em conta que a disponibilidade de nutrientes varia de acordo também com os microrganismos envolvidos (e enzimas envolvidas no processo) ^[61].

Existem microrganismos que se caracterizam por possuir um complexo enzimático com capacidade de ataque, degradação e utilização da matéria orgânica, como os denominados resíduos frescos e outros microrganismos que têm apenas capacidade de utilização de alguns produtos de decomposição como fonte nutricional ^[61].

É importante ter igualmente em conta a resistência de algumas moléculas orgânicas à degradação, mesmo que contenham um complexo enzimático adequado. Essa resistência reflete-se na necessidade de mais tempo de degradação, mesmo em condições ótimas de compostagem ^[61].

Os macronutrientes mais importantes para os microrganismos são carbono, o azoto, o fosforo e o potássio e os micronutrientes o cobalto, o manganês, o magnésio e o cobre. No entanto, o carbono e o azoto são os dois macronutrientes com maior relevância, uma vez que a sua relação é um dos fatores críticos do processo de compostagem. O carbono é um constituinte do material celular e funciona como dador de eletrões em reações de oxidação aeróbias. O azoto tem também é um constituinte do material celular (ácido nucleico), proteínas, enzimas e aminoácidos.

Segundo Fernandes ^[17], o carbono constitui cerca de 50% da matéria celular, sendo que cerca de 25 % é libertado sob a forma de CO₂ no processo de respiração, sendo por isso o macronutriente necessário em maior quantidade.

- **Razão C/N**

Tal como já referido o carbono representa em média 50% e o azoto de 2 a 8% da composição das moléculas orgânicas intervenientes no processo de compostagem. Desta forma, a razão entre o carbono e o azoto é um parâmetro muito importante no processo de compostagem, uma vez que reflete a disponibilidade biológica de carbono e azoto.

O carbono é extremamente importante por promover o crescimento microbiano, uma vez que é utilizado como fonte de energia e representa a unidade estrutural básica das moléculas orgânicas. No processo de compostagem aeróbia, cerca de 25 % do carbono é libertado na forma de dióxido de carbono e o restante é combinado com o azoto durante o crescimento microbiano, sendo que a sua libertação sob a forma de dióxido de carbono é mais elevada durante a fase termofílica. Após a fase de maturação, a quantidade de carbono no composto diminui cerca de 30 a 50 %.

Por seu lado, o azoto tem uma representatividade importante na composição de proteínas, ácidos nucleicos, aminoácidos, enzimas e coenzimas ^[17].

Segundo Martins & Dewes ^[65], aproximadamente 48,6 a 77,4% da totalidade de azoto perdido ao longo do processo de compostagem estava relacionado com emissões gasosas, essencialmente sob a forma de amoníaco (NH_3) e numa pequena quantidade de óxido nitroso (N_2O).

Durante a compostagem as mais variadas formas de azoto sofrem sucessivas transformações, muito importantes para o processo em si e para a qualidade do composto produzido ^[25].

A dinâmica do Azoto num processo de compostagem encontra-se esquematizada na Figura V-1 do Anexo V.

Segundo Venglosky et al. ^[58] os valores ótimos de razão C/N para o processo de compostagem encontram-se entre 25 e 35. Para valores superiores a 35 o processo abrande e inferiores a 20 ocorrem perdas de azoto por libertação de amoníaco. Os valores finais da razão C/N devem estar compreendidos entre 10 e 15.

Já Tchobanoglous et al. ^[55] refere que os valores ideais de C/N para a maioria dos resíduos orgânicos encontram-se entre 20 e 25.

Batista & Batista ^[34] afirma que durante um processo de decomposição aeróbia ativa, o consumo de carbono pelos microrganismos é cerca de 15 a 30 vezes superior ao do azoto.

Também Epstein ^[22] refere que, normalmente, os microrganismos consomem 30 vezes mais carbono (em peso) que azoto. Assim, é sugerido que a razão ótima de C/N é de 30 para 1, considerando o carbono biodegradável. A diminuição da razão C/N provoca a volatilização do azoto e o aumento conduz a tempos de compostagem maiores.

Na Tabela 7 são apresentados valores de razão C/N de alguns materiais.

Tabela 7- Razão C/N de alguns resíduos passíveis de serem compostados (Adaptado de Tchobanoglous, G. et al. ^[55] e Golueke, C.G. ^[51])

Resíduos ricos em Carbono	Razão C/N	Resíduos ricos em Azoto	Razão C/N
Folhas secas	30-80:1	Esgotos	6,3-15,7:1
Palha	40-100:1	Estrume de Galinha	10-18:1
Mistura RSU	50-60:1	Vegetais	12-20:1
Espigas de Milho	60:1	Aparas de Relva	12-25:1
Ervas (Secas)	90:1	Restos de Comida	15:1
Folhas Secas Partidas	90:1	Lamas de ETAR	16:1
Cortiça	100-130:1	Estrume de bovino	18:1
Palha de Trigo	127-150:1	Estrume de Vaca	20:1
Papel	150-200:1	Ervas (Frescas)	25:1
Aparas de Madeira e Serradura	100-500:1	Folhas (Verdes)	30-40:1
Madeira	700:1	Restos Fruta	35:1
Composto final		10-15:1	
Húmus		10:1	

b. Metais Pesados

Os metais pesados caracterizam-se por serem elementos metálicos com elevado peso molecular. Fazem parte deste grupo metais como cádmio, crómio, cobre, chumbo, mercúrio, níquel e zinco. São normalmente tóxicos para plantas e animais quando presentem em grandes quantidades, como tal o seu controlo no composto é essencial. No entanto, alguns destes metais são necessários em pequenas quantidades, para plantas e animais, principalmente para que esses organismos completem o ciclo de vida ^[66].

No Anexo V é referido com mais pormenor a origem dos metais pesados em compostos e é descrita a sua influência no solo.

c. pH

O processo de compostagem é relativamente pouco sensível ao pH das matérias-primas, devido ao largo espectro de microrganismos associados à matéria orgânica e

que estão envolvidos no processo. Os valores ótimos situam-se entre 6,5 e 8, no entanto, dada a natural capacidade tampão do processo este permite a utilização de matéria orgânica com intervalos de pH mais amplos. De facto, a compostagem pode ser realizada com matérias-primas com valores de pH de 5,5 a 9 ^[17].

Contudo, ao longo do processo o pH varia devido às alterações que vão sendo sofridas pelos substratos orgânicos (Figura 14). Normalmente, o pH diminui no início do processo, durante a fase mesófila, devido à atividade de bactérias formadoras de ácido que hidrolisam os materiais orgânicos complexos, originando ácidos orgânicos de baixo peso molecular ^[61]. A diminuição dos valores de pH possibilita o crescimento de fungos que auxiliam o processo de decomposição da celulose e da lenhina. Posteriormente, os ácidos orgânicos formados são completamente metabolizados, verificando-se uma subida do pH podendo atingir valores entre pH 7,5 e 8,5 ^[61]. A libertação de bases até então agregadas nas estruturas das macromoléculas pode contribuir para a elevação de pH, bem como a produção de amoníaco a partir da degradação microbiana de proteínas ou bases azotadas.

Na fase de arrefecimento ou maturação o pH geralmente baixa para valores próximos da neutralidade.

O pH é um parâmetro seletivo devido à sua influência na população microbiana, uma vez que está diretamente relacionado com o metabolismo dos microrganismos ^[15]. Cada microrganismo possui um intervalo de valores de pH nos quais eles podem crescer e um intervalo em que o pH é ótimo para o crescimento. Considerando a gama de valores de pH ótimos, os microrganismos podem ser classificados como acidófilos, neutrófilos, alcalófilos e alcalófilos extremos. Os microrganismos acidófilos têm um crescimento ótimo para valores de pH entre 0 e 5,5, os neutrófilos apresentam um máximo de crescimento entre pH 5,5 e 8,0, os alcalófilos entre 8,0 e 11,5 e os alcalófilos extremos a pH superior a 10 ^[68].

De salientar que grande parte das bactérias não sobrevivem com valores de pH inferiores a 3, já valores superiores a 11,5 podem provocar transformações no estado de ionização de vários compostos proteicos o que irá conduzir à inativação enzimática.

As bactérias desenvolvem-se mais facilmente a um pH entre os 6,0 e 7,5, enquanto os fungos apresentam uma gama de crescimento ótima entre pH 5,5 e 8,0 ^[69]. Se o pH diminui para valores inferiores a 6, o crescimento da população de microrganismos, especialmente as bactérias, termina e por isso a decomposição diminui.

Segundo Diaz & Savage ^[61] e Epstein ^[66], o processo de compostagem ocorre dentro de uma gama de pH entre 3 e 11, no entanto o intervalo ideal situa-se entre 5,5 e 8,0. As bactérias desenvolvem-se melhor a pH próximo de 7 e os fungos a pH ácido. Já Kreith & Tchobanoglous ^[29] sugerem valores de pH entre 5,5 e 7,5 para o desenvolvimento de bactérias e valores entre 5,5 e 8 para os fungos.

d. Taxa de Respiração- Consumo de O₂ e Formação de CO₂

Tal como já referido anteriormente, a taxa de utilização de oxigénio é função da intensidade da atividade microbiana, durante o processo de compostagem ^[70].

Normalmente são recomendados níveis de oxigénio menores do que 15 % no ar existente nos interstícios do material, no entanto também não devem ser inferiores a 5%, para garantir a manutenção da velocidade de decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos aeróbios, impedindo o crescimento da população anaeróbia e a criação de condições de anaerobiose ^[71]. No caso de os níveis de oxigénio serem superiores a 15 %, ocorre o arejamento excessivo, provocando o arrefecimento do material ^[70] ^[71].

A taxa de consumo de oxigénio do material compostado pode ser usada para aferir a sua estabilidade e o tipo de aplicação em que o composto pode ser utilizado. No caso de aplicação do composto em culturas horticultura, são suficientes taxas inferiores a 20 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹ (com base na massa de composto seca) para que o composto possa ser classificado como estável. Para aplicações de campo, taxas inferiores a 100 mg O₂ kg⁻¹ h⁻¹ (com base na massa seca) já são consideradas suficientes para se considerar um composto maduro ^[53].

1.3.7 O COMPOSTO FINAL

O composto orgânico pode ter diversas aplicações na agricultura, florestação, horticultura, combate à erosão e na recuperação de solos degradados, dependendo da sua qualidade final, nomeadamente do conteúdo de matéria orgânica, do nível de maturação e higienização e da concentração em nutrientes.

Na sua aplicação devem ser consideradas as características do composto, as características do solo onde vai ser aplicado, as características da cultura, o clima, entre outros. As características do composto e as limitações da sua aplicabilidade são referidas na legislação e em regulamentos usados para esse efeito.

A qualidade do composto depende das características físicas, químicas e biológicas das matérias-primas utilizadas e da evolução e condução do processo de compostagem, nomeadamente no que respeita ao controlo e eliminação de impurezas e agentes patogénicos. É de salientar que o conceito de qualidade dos compostos tem de ser abrangente visto que para a avaliação da qualidade deste não existe um único parâmetro que reflita por si só a sua qualidade mas sim um conjunto deles ^[71].

As características físicas normalmente avaliadas num composto são a cor, o tamanho das partículas, o odor terroso, a ausência de contaminantes, a humidade adequada e a capacidade de retenção de água ^[72].

Relativamente às características químicas devem ser analisados os parâmetros pH, a concentração de micro e macronutrientes, a concentração de metais pesados e de sais solúveis. Os parâmetros orgânicos e biológicos avaliados devem ser a presença de compostos tóxicos, de agentes patogénicos e de sementes e ervas daninhas ^[72].

Atualmente não existe a nível comunitário e a nível nacional legislação específica sobre a qualidade do composto resultante de um processo de compostagem de resíduos.

Em 2001, foi apresentado a pela comissão europeia, um documento de trabalho sobre a qualidade de compostos orgânicos, o “Biological Treatment of Biowaste – 2nd Draft” ^[73].

Neste documento são propostas classes para a classificação do composto e limites para a concentração de microrganismos patogénicos e metais pesados. No Anexo I são

apresentados os resíduos adequados para o tratamento biológico. No Anexo II são referidos os requisitos sanitários, os valores máximos e mínimos de temperatura adequados e o tempo que essas temperaturas devem ser mantidas, conforme o sistema utilizado, para que seja atingido um elevado nível de atividade biológica em condições favoráveis. São também estabelecidos o número de revolvimentos adequados a cada sistema, gama de temperatura e duração do processo, tal como é apresentado na Tabela 8.

Tabela 8- Temperatura, duração do processo e número de revolvimentos estabelecidos (Adaptado de *European Commission-Directorate-General Environment* ^[73])

Parâmetro	Temperatura	Duração do processo	Frequência de revolvimento
Pilhas revolvidas (Aberto)	≥ 55°C	2 semanas	5
<i>Pilhas Revolvidas (Aberto)</i>	≥ 65°C	1 semana	2
<i>Reator (Fechado)</i>	≥ 60°C	1 semana	Não definido

No Anexo III do “Biological Treatment of Biowaste – 2nd Draft” ^[73], refere a existência de dois tipos de produto final do processo de compostagem, o composto e o resíduo biodegradável estabilizado. O composto pode ser classificado em duas classes distintas, na classe 1 que refere que o composto pode ser aplicado sem restrições de acordo com o Código de Boas Práticas Agrícolas e na Classe 2 em que pode ser utilizado em quantidades que não excedam as 30 toneladas de matéria seca por hectare durante uma média de 3 anos.

São também indicados os limites para alguns metais pesados, contaminantes e agentes patogénicos. A Tabela 9 apresenta esses valores.

Tabela 9 – Limites para alguns metais pesados, contaminantes e agentes patogénicos, entre outros (Adaptado de *European Commission- Directorate-General Environment* ^[73])

Parâmetro	Composto		Resíduo Biodegradável
	Classe 1	Classe 2	Estabilizado
Cádmio (Cd) - mg. kg ⁻¹ (matéria seca)	0,7	1,5	5
Crómio (Cr) - mg. kg ⁻¹ (matéria seca)	100	150	600
Cobre (Cu) - mg. kg ⁻¹ (matéria seca)	100	150	600
Mercúrio (Hg) - mg. kg ⁻¹ (matéria seca)	0,5	1	5
Níquel (Ni) - mg. kg ⁻¹ (matéria seca)	50	75	150
Chumbo (Pb) - mg. kg ⁻¹ (matéria seca)	100	150	500
Zinco (Zn) - mg. kg ⁻¹ (matéria seca)	200	400	1500
PCB - mg. kg ⁻¹ (matéria seca)	-	-	0,4
HAP - mg. kg ⁻¹ (matéria seca)	-	-	3
Impurezas > 2 mm - %	< 0,5	< 0,5	< 3
Gravilha e pedras > 5 mm - %	< 5	< 5	-

Em Portugal, foi elaborada em Dezembro de 2008 uma proposta para as Especificações Técnicas sobre Qualidade e Utilizações do Composto, “Proposta de Norma Técnica sobre Qualidade e Utilizações do Composto” onde se encontram definidas quatro classes de qualidade para o Composto e fixados limites para alguns parâmetros, tendo em conta a sua aplicação em diferentes processos agrícolas ^{[1] [54] [74]}. Nesta proposta são estabelecidas classes de qualidade para o Composto em função de alguns parâmetros e são fixados critérios para a sua utilização, bem restrições à utilização para evitar efeitos indesejáveis para o solo, água, plantas, animais e seres humanos, tendo em conta as classes definidas e o tipo de utilização. Assim, estabeleceram-se nas Especificações Técnicas três classes de qualidade, Classe I, Classe II, Classe III. Com carácter provisório, até nova revisão da proposta, estabeleceu-se também a Classe IIA (Tabela 10) ^[1].

Tabela 10 – Limites máximos definidos para corretivos orgânicos relativamente a características físico-químicas e microbiológicas (Adaptado de *Proposta de Norma Técnica sobre Qualidade e Utilizações do Composto* ^{[1] [54]}).

Parâmetro	Composto			
	Classe I	Classe II	Classe IIA	Classe III
Humidade	< 40 %			
Granulometria	99 % menor que 25 mm;			
Matéria Orgânica (% peso seco)	> 30			
pH	5,5 – 8,5			
Cádmio (Cd) - mg. kg ⁻¹ (matéria seca)	0,7	1,5	3,0	5,0
Crómio (Cr) - mg. kg ⁻¹ (matéria seca)	100	150	300	400
Cobre (Cu) - mg. kg ⁻¹ (matéria seca)	100	200	400	600
Mercúrio (Hg) - mg. kg ⁻¹ (matéria seca)	0,7	1,5	3,0	5,0
Níquel (Ni) - mg. kg ⁻¹ (matéria seca)	50	100	200	200
Zinco (Zn) - mg. kg ⁻¹ (matéria seca)	200	500	1000	1500
Chumbo (Pb) - mg. kg ⁻¹ (matéria seca)	100	150	300	500
Materiais inertes antropogénicos (%)	0,5	1,0	2,0	3,0
Pedras > 5 mm (%)	5,0	5,0	5,0	-
<i>Salmonella spp.</i>	Ausente em 25 g	Ausente em 25 g	Ausente em 25 g	Ausente em 25 g
<i>Escherichia coli</i> (NMP/g)	1000	1000	1000	1000

1.4 OBJETIVOS

Os objetivos principais da presente dissertação foram a avaliação da implementação de uma estação de compostagem (centro de compostagem) assim como o estudo da recolha de biorresíduos, particularmente resíduos de jardim no Município de Paços de Ferreira.

Atendendo aos objetivos principais foram definidos objetivos específicos que envolveram uma abordagem à problemática da gestão de biorresíduos, enquanto resíduos urbanos, no Município de Paços de Ferreira, focando particularmente os resíduos verdes e avaliando as fontes geradoras, tendo em vista a implementação de um centro de compostagem com tecnologia de pilhas revolvidas e atendendo aos dados recolhidos, dimensionando-o e definindo necessidades de equipamento de apoio e infraestruturas.

O estudo da implementação de um centro de compostagem envolveu o desenvolvimento de um ensaio de compostagem com o estudo e seleção de uma formulação adequada de uma mistura a utilizar no processo de compostagem, incorporando os resíduos rececionados em maior quantidade no ecocentro municipal e com potencialidade de valorização orgânica, ou seja os resíduos verdes e serradura de madeira. Foram elaboradas várias misturas de resíduos com o objetivo de estudar a sua apetência para futuras utilizações no centro de compostagem a dimensionado.

1.5 ESTRUTURA E ORGANIZAÇÃO DA TESE

A presente tese encontra-se dividida em 7 capítulos, sendo que a descrição dos principais temas abordados em cada um se apresenta de seguida.

O Capítulo 1 é dedicado ao enquadramento geral do tema e à formulação dos objetivos propostos, com referência aos principais conceitos relativos à gestão de resíduos, com especial enfoque para os biorresíduos e mais concretamente para o processo de valorização orgânica por compostagem. É apresentada uma descrição da situação atual da gestão de resíduos urbanos em Portugal e são referenciados os

principais conceitos e definições de um processo de compostagem, expondo uma descrição geral do processo e das diferentes tecnologias, bem como dos parâmetros de controlo do processo e da qualidade do composto produzido.

No Capítulo 2 é caracterizado o Município de Paços de Ferreira, e mais especificamente o sistema de gestão de resíduos urbanos implementado. É apresentada uma descrição do sistema atual de gestão de resíduos, definindo e especificando as diferentes entidades envolvidas e as operações que executam. São também analisados os vários fluxos de resíduos produzidos no município e é apresentada a sua quantificação, com especial incidência para os biorresíduos e particularmente para os resíduos verdes.

O Capítulo 3 refere de uma forma detalhada os materiais e métodos utilizados no ensaio de compostagem, nomeadamente são caracterizadas as matérias-primas e é descrito e explicado o método utilizado no dimensionamento, formulação e construção das pilhas de compostagem e é realizada a descrição dos parâmetros de controlo do processo. Em seguida é explicada e apresentada pormenorizadamente a metodologia aplicada no dimensionamento do centro de compostagem de resíduos verdes, nomeadamente na determinação da capacidade de tratamento com base nos dados obtidos no Capítulo 2, na seleção da localização do centro e da tecnologia de compostagem e na determinação da área necessária.

No Capítulo 4 são apresentados os resultados relativos à avaliação dos parâmetros controlo do ensaio de compostagem e é realizada uma análise apreciativa dos resultados obtidos, no sentido de avaliar o processo. São também apresentados os resultados do dimensionamento do centro de compostagem, isto é, é indicado o local escolhido para a sua implementação e a tecnologia mais indicada, é apresentada a área total requerida para a sua implementação, são indicadas as infraestruturas e o equipamento necessário e é indicada a descrição geral do modo de funcionamento.

No capítulo seguinte, o Capítulo 5 o resumo e avaliação de todos os resultados obtidos e é apresentada uma proposta para trabalhos futuros.

No Capítulo 6 é exposta a bibliografia utilizada no decorrer do trabalho e por fim, nos Anexos são disponibilizados documentos complementares ao trabalho realizado.

2

GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS NO MUNICÍPIO DE PAÇOS DE FERREIRA

2.1 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO

O município, tal como é atualmente conhecido, foi definido no século XIX, no decurso da reforma administrativa liberal que reorganizou o país. É através do Decreto 6 de Novembro de 1836, assinado por D. Maria II, que se definiu o concelho de Paços de Ferreira.

Até à definição de Paços de Ferreira como um município, a atividade com maior impacto era a agricultura, complementada com algumas atividades artesanais das quais se destacavam a cestaria, a tanoaria, os teares, as moagens, os tamanqueiros, os funileiros e os fogueteiros. No entanto com o decorrer dos anos, começaram a proliferar pequenos ofícios que se transformaram em fábricas. No final do século XIX, começaram a surgir, na freguesia de Freamunde, importantes fábricas de mobiliário escolar, anunciando a explosão da indústria transformadora de madeira que se observou desde o início do século XX até à atualidade.

Apesar do incremento da atividade industrial, verificado durante o século XX, a agricultura foi sempre intensivamente praticada, embora geralmente em pequenas explorações familiares. Até 2008, funcionou em Paços de Ferreira uma estação agrária sob a tutela do Ministério da Agricultura, onde era efetuada criação de gado, produção de leite e cereais, onde existia uma oficina e posto de venda, onde se podia adquirir o queijo produzido.

Atualmente, o município de Paços de Ferreira é conhecido como a “Capital do Móvel”, sendo o mobiliário a sua imagem de marca ^[74].

O município de Paços de Ferreira enquadra-se na sub-região do TÂMEGA, Unidade Territorial Estatística de nível III, NUT III, uma das 8 sub-regiões de dividem administrativamente a região Norte de Portugal (NUT II).

Localiza-se no distrito do Porto, num planalto de média altitude conhecido por “Chã de Ferreira”, limitado a Este pelo município de Lousada, a Sul por Paredes, a Sudoeste por Valongo e a Oeste e Norte por Santo Tirso e possui uma área de 71,0 km² com cerca de 56 340 habitantes ^[74] ^[75].

Encontra-se, atualmente, repartido administrativamente por 16 freguesias: Arreigada, Carvalhosa, Codessos, Eiriz, Ferreira, Figueiró, Frazão, Freamunde, Lamoso, Meixomil, Modelos, Paços de Ferreira, Penamaior, Raimonda, Sanfins de Ferreira e Seroa; no entanto, devido à reforma administrativa a decorrer, prevê-se a redução do número de freguesias (Figura 17).



Enquadramento do distrito do porto no território nacional



Enquadramento do Município de Paços de Ferreira no distrito do Porto



Distribuição das freguesias no município de Paços de ferreira

Figura 17 - Enquadramento geográfico do município de Paços de Ferreira (Adaptado de Mapas de Portugal ^[76]).

O município de Paços de Ferreira apresentava em 2011 uma população total de 56 340 habitantes distribuída por 16 freguesias ^[77]. A Tabela 11 apresenta a distribuição dos habitantes pelas diversas localidades do município, no ano de 2011.

Tabela 11 – População residente nas diferentes freguesias do município de Paços de Ferreira (Adaptado de INE^[77])

Freguesia	População (Nº de habitantes)
Paços de Ferreira	56340
Arreigada	1999
Carvalhosa	4583
Codessos	1011
Eiriz	2303
Ferreira	4341
Figueiró	2496
Frazão	4264
Freamunde	7789
Lamoso	1613
Meixomil	3676
Modelos	1594
Paços de Ferreira	7491
Penamaior	3819
Raimonda	2576
Sanfins de Ferreira	3139
Seroa	3646

A localidade com maior população é a cidade de Freamunde, com 7 789 habitantes e em oposição, a localidade com a população mais pequena é a freguesia de Codessos com 1011 habitantes (Tabela 11).

Na Figura 18 encontra-se ilustrado o número de habitantes residentes no município de Paços de Ferreira nos anos de 2001 e 2011.

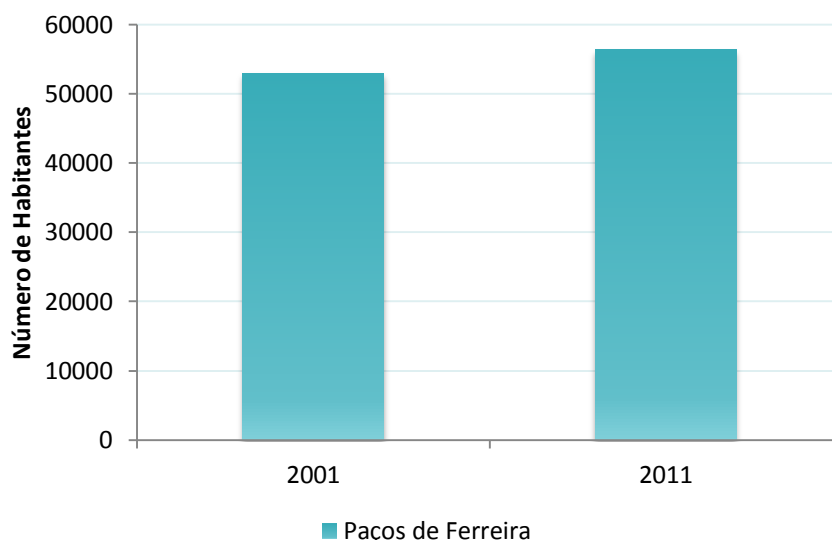


Figura 18- População residente no município de Paços de Ferreira em 2001 e 2011. (Adaptado INE-CENSOS 2011 ^[77])

Entre 2001 e 2011, verificou-se um aumento da população residente no município de Paços de Ferreira em cerca de 6%.

2.2 SISTEMA ATUAL DE GESTÃO DE RESÍDUOS

A estrutura da Câmara Municipal de Paços de Ferreira (CMPF) abrange a Presidência e três grandes departamentos, o departamento administrativo jurídico e financeiro, o departamento de obras municipais, infraestruturas e ambiente e o departamento de obras particulares e urbanismo. Apesar de, a cada departamento estar delegada uma área específica de atuação, a complexidade do sistema leva a uma contínua interação entre os vários departamentos, no sentido de responder da melhor forma às várias questões que podem surgir.

O Departamento de obras públicas, infraestruturas e ambiente engloba a divisão de obras municipais, a divisão de águas e saneamento e a divisão de serviços Urbanos e Ambiente.

As áreas sob a responsabilidade dos serviços urbanos e ambiente encontram-se esquematizadas na Figura 19.

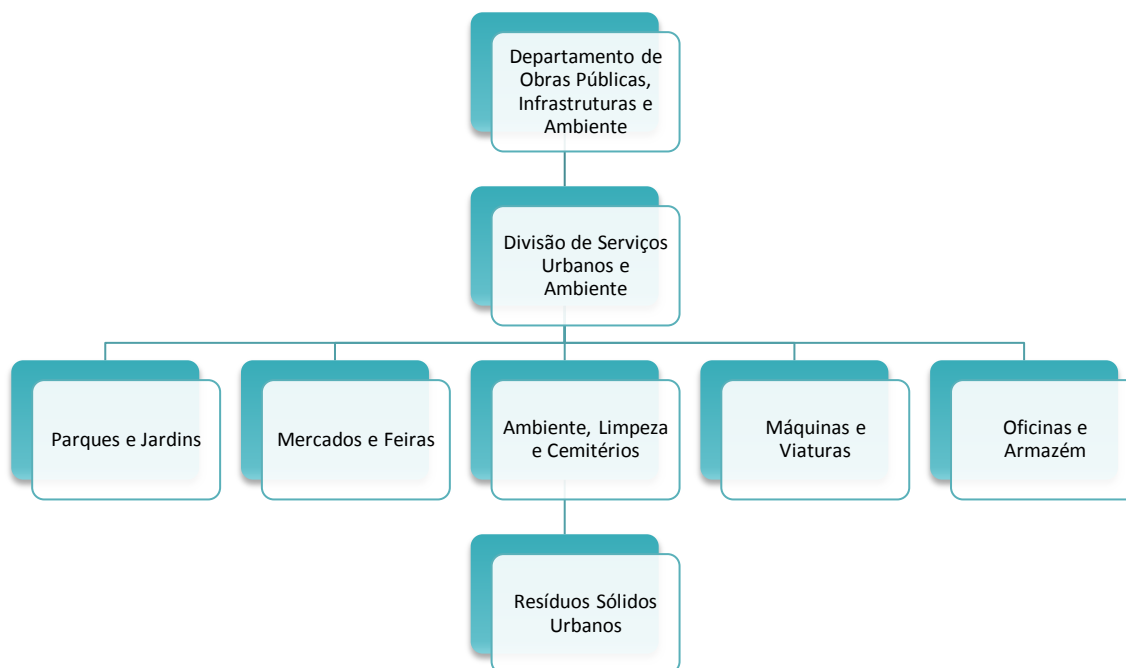


Figura 19 - Responsabilidades de gestão dos serviços urbanos e ambiente da CMPF.

As alterações sociais, culturais e económicas sentidas em Paços de Ferreira e as atuais necessidades e normas dos sistemas de gestão de resíduos urbanos instalados em Portugal, conduziram, em 2012, à formulação de uma nova política de gestão dos resíduos sólidos urbanos produzidos no município que substituiu a anterior, em vigor desde 29 de Dezembro de 1998.

O desenvolvimento económico e a evolução dos hábitos de vida conduziram ao aumento do consumo e consequentemente ao aumento da quantidade e diversidade dos resíduos urbanos produzidos, o que se traduz na necessidade de efetuar uma gestão apropriada, no sentido de salvaguardar o meio ambiente e a saúde pública.

Para responder às alterações na problemática dos resíduos urbanos foi formulada nova legislação, da qual se destaca, como já referido no Capítulo 1, o Decreto-Lei n.º 73/2011, de 17 de junho.

Também importante no âmbito da gestão municipal é a Lei n.º 2/2007, de 15 de janeiro, que aprovou a lei das finanças locais, o Decreto - Lei n.º 194/2009, de 20 de agosto, que instituiu o regime jurídico dos serviços municipais de abastecimento público de água, de saneamento de águas residuais urbanas e de gestão de resíduos

urbanos, que veio exigir a existência de um regulamento de serviço onde podem ser consultadas as regras da prestação do serviço aos utilizadores e a Portaria n.º 34/2011, de 13 de janeiro, que estabeleceu o conteúdo mínimo do regulamento acima referido, quando abrangidos pelo Decreto - Lei n.º 194/2009, de 20 de agosto, identificando de forma perentória um conjunto de parâmetros devem ser regulados.

Assim, tendo em conta os fatores acima referidos foi estabelecido o Regulamento de Serviço de Gestão de Resíduos Urbanos do Município de Paços de Ferreira, o Regulamento n.º 133/2012 ^[78].

No novo regulamento são definidas as regras a que deve obedecer a prestação do serviço de gestão de resíduos urbanos e resíduos de construção e demolição sob a sua responsabilidade, no Município de Paços de Ferreira, nomeadamente nas atividades de recolha e transporte de resíduos.

Segundo o regulamento, o município de Paços de Ferreira é a entidade titular que deve assegurar o funcionamento do serviço de gestão de resíduos urbanos e a entidade gestora responsável pela sua recolha indiferenciada e seletiva.

A tipologia de resíduos a gerir pela entidade municipal são os resíduos urbanos, cuja produção diária não exceda os 1 100 litros por produtor, resíduos urbanos de grandes produtores e outros resíduos que por atribuições legislativas sejam igualmente da competência da Entidade Gestora, como alguns resíduos de construção e demolição.

O sistema de gestão de resíduos engloba o acondicionamento e a deposição (indiferenciada e seletiva) por parte dos produtores e a recolha (indiferenciada e seletiva) e transporte dos resíduos urbanos para destino final: o Aterro Sanitário de Lustosa e a Estação de Triagem de Lustosa, sob a responsabilidade da Empresa Pública Intermunicipal Ambisousa (responsável pelos serviços em alta).

Numa perspetiva de assegurar um serviço de maior qualidade a CMPF delegou, em parte, as responsabilidades de recolha e transporte a partir dos locais de deposição dos munícipes (serviços em baixa), a uma empresa prestadora de serviços, a SUMA-Serviços Urbanos e Meio Ambiente, S.A..

O sistema de gestão atualmente em vigor engloba quatro tipos diferentes de recolha de resíduos urbanos, esquematizados na Figura 20, os quais:

- Recolha indiferenciada porta - a - porta nas freguesias de Paços de Ferreira e de Freamunde - Gestão sob a responsabilidade da SUMA;
- Recolha indiferenciada de proximidade em todo o restante território municipal- Gestão sob a responsabilidade da SUMA;
- Recolha seletiva de proximidade em todo o território municipal Gestão sob a responsabilidade da SUMA;
- Recolha seletiva de fluxos específicos de resíduos, no Ecocentro - Gestão sob a responsabilidade dos serviços municipais.

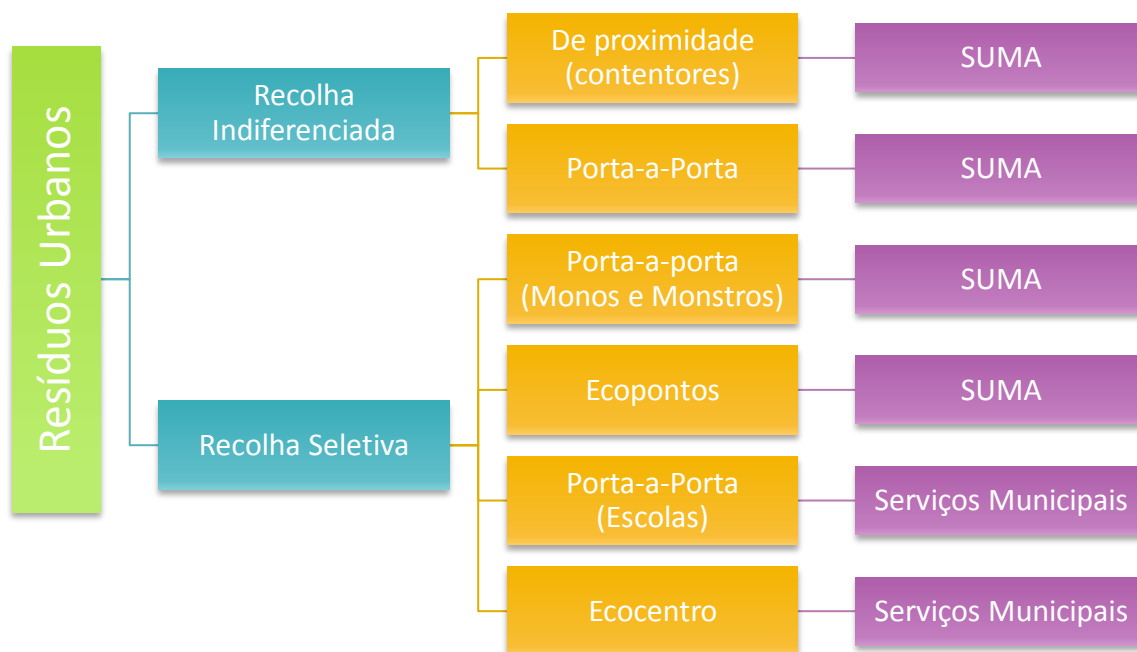


Figura 20- Esquema representativo do sistema de recolha de resíduos urbanos em Paços de Ferreira.

No novo regulamento encontra-se também definido a aplicação de um tarifário relativo ao serviço de gestão de resíduos urbanos, dirigido a todos os utilizadores domésticos ou não domésticos.

A estrutura tarifária engloba uma tarifa fixa de gestão de resíduos, em função do intervalo temporal objeto de faturação e expressa em euros por cada trinta dias, e

uma tarifa variável, função da quantidade estimada de resíduos recolhidos durante o período objeto de faturação e expressa em euros.

São também cobradas tarifas por contrapartida da prestação de serviços auxiliares, como a desobstrução e lavagem de condutas prediais de rejeição de resíduos ou pela gestão de resíduos de construção e demolição de resíduos de grandes produtores.

A classificação dos utilizadores do serviço em domésticos e não domésticos é importante para a estimativa de produção de resíduos utilizada para definir a tarifa variável. Relativamente aos utilizadores domésticos a estimativa é feita em função da composição do agregado familiar, e aos utilizadores não domésticos é estimada a partir da área do imóvel e do tipo de atividade exercida.

Os utilizadores podem ainda beneficiar da aplicação de tarifários especiais, tais como o tarifário social, aplicável aos utilizadores finais que estejam em situação de carência económica (utilizadores domésticos) ou funcionem como instituições particulares de solidariedade social, organizações não governamentais sem fins lucrativos ou outras entidades de reconhecida utilidade (utilizadores não domésticos), tarifário familiar, aplicável aos utilizadores finais domésticos cuja composição do agregado familiar ultrapasse quatro elementos e o tarifário especial para utilizadores não domésticos.

A estrutura tarifária aplicada em Paços de Ferreira encontra-se nas Tabelas VI-1 a VI-5 do Anexo VI.

A recolha na área abrangida pelo CMPF efetua-se por circuitos pré-definidos ou por solicitação prévia, de acordo com critérios a definir pelos respetivos serviços, tendo em consideração a frequência mínima de recolha que permita salvaguardar a saúde pública, o ambiente e a qualidade de vida dos cidadãos.

Como já foi referido, os serviços de gestão de resíduos urbanos são realizados por três entidades diferentes. Os serviços em baixa, da responsabilidade da CMPF, são realizados pelos serviços municipais e pela empresa prestadora de serviços, a SUMA. Os serviços em alta são da responsabilidade da Empresa Pública Intermunicipal Ambisousa. Assim, a melhor forma de estudar o sistema de gestão é discriminar e analisar os serviços prestados por cada um das três entidades.

2.2.1 SUMA - SERVIÇOS URBANOS E MEIO AMBIENTE, S.A.

Os serviços do sistema de gestão sob a responsabilidade da SUMA envolvem praticamente a totalidade da recolha de resíduos urbanos no município e o seu transporte até ao local de deposição final, onde passam a ser responsabilidade da Ambisousa.

Na Figura 21 são visíveis os serviços prestados em todo o território municipal.

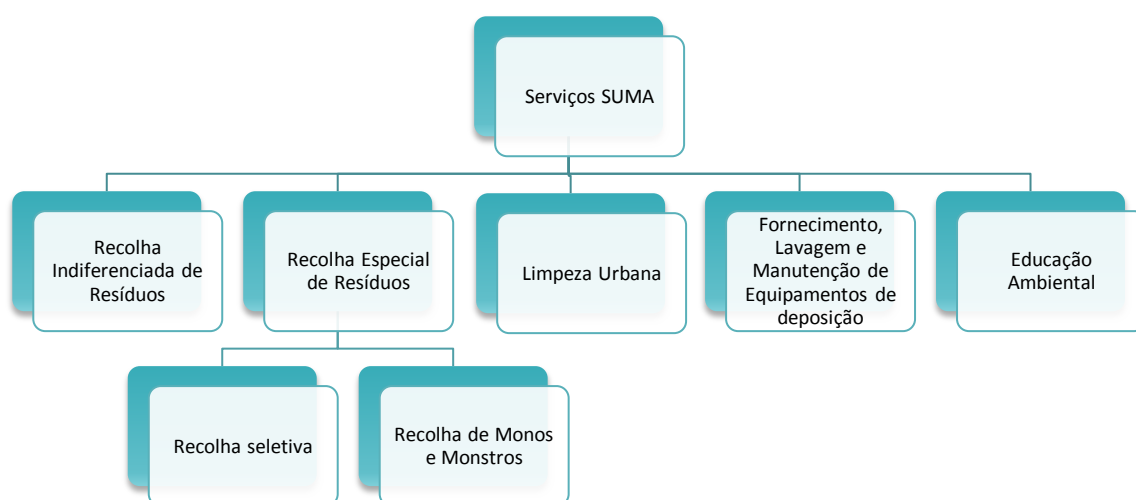


Figura 21 – Serviços prestados pela SUMA.

Recolha Indiferenciada de Resíduos Urbanos

A recolha indiferenciada de resíduos é efetuada de duas formas distintas, através de um sistema porta-a-porta ou de um sistema por transporte voluntário (fazendo a recolha nos contentores específicos) de proximidade.

O sistema porta-a-porta consiste na recolha de resíduos em sacos de plástico, devidamente isolados, colocados na rua junto às habitações, dentro de um horário estabelecido. Este tipo de recolha é apenas efetuada nos centros urbanos de Freamunde e Paços de Ferreira, ou seja, das localidades com maior densidade populacional.

A recolha indiferenciada de proximidade por transporte voluntário é efetuada no restante território municipal e consiste na recolha de resíduos depositados em contentores próprios para o efeito. Em 2012, ao longo do território municipal encontram-se instalados 2 054 contentores de resíduos urbanos indiferenciados. Os contentores podem ser de domínio público ou particular e podem ter uma capacidade de 800 ou 240 litros. Na Tabela 12 apresentam-se o número de contentores das diferentes tipologias no município de Paços de Ferreira, em 2012.

Tabela 12- Quantidade de equipamento de deposição no município de Paços de Ferreira.

Equipamentos de deposição	Paços de Ferreira
Contentores de 800 l	1 988
Contentores de 240 l	36
Contentores de 800 l - Particulares	25
Contentores de 240 l - Particulares	5

Ambos os sistemas de recolha são efetuados através de quatro circuitos. Um dos circuitos envolve a recolha de resíduos nas zonas urbanas de Freamunde e Paços de Ferreira, 6 vezes por semana. Os restantes 3 circuitos são efetuados 3 vezes por semana, nas zonas rurais.

Em 2011 foram recolhidas 22 634,4 t de resíduos urbanos o que corresponde a uma captação de 1,10 kg/hab/dia.

Recolha Especial de Resíduos Urbanos

A recolha especial de resíduos envolve a recolha seletiva e a recolha de monos e monstros. A recolha de monos e monstros consiste colheita gratuita de objetos de grandes dimensões, efetuada porta-a-porta com uma frequência semanal, sempre que solicitado pelos munícipes.

A recolha seletiva é efetuada através de um sistema de proximidade e consiste na recolha dos diversos fluxos de resíduos, contidos em equipamentos de deposição

apropriados. No município é feita a recolha seletiva de embalagens de plástico e metal, de vidro, de papel e cartão, de pilhas e de óleos alimentares usados.

Em 2012, existiam 135 ecopontos distribuídos pelo município, o que resulta num rácio de 1 ecoponto para 417 habitantes. A distribuição pelas diversas freguesias é apresentada na Figura VII – 1 do Anexo VII.

Limpeza Urbana

Este serviço é constituído por diferentes ações que garantem a limpeza dos arruamentos públicos através varredura manual, varredura mecânica e lavagem de ruas. A varredura manual envolve a varredura de ruas, recolha de resíduos das papeleiras, corte de ervas e monda química e apenas é realizada nos centros urbanos de Freamunde e Paços de Ferreira. Desta operação resulta a recolha de resíduos verdes, principalmente de folhas.

A varredura mecânica e a lavagem de ruas são efetuadas em simultâneo nas principais estradas do município, durante o verão. No inverno apenas é realizada a varredura de ruas.

Fornecimento, Lavagem e Manutenção de Equipamentos de deposição

O serviço de manutenção é desempenhado por uma equipa especializada que efetua a manutenção ativa de todos os equipamentos de deposição instalados, garantindo a sua boa conservação e funcionamento. Os equipamentos de deposição de resíduos são lavados e desinfetados quinzenalmente.

Educação e Sensibilização Ambiental

A SUMA, em cooperação com a ValSousa - Associação de Municípios do Vale do Sousa e as Câmaras Municipais, tem vindo a desenvolver planos estratégicos de educação ambiental.

Nesse sentido e numa tentativa de atingir populações diferentes, têm sido estabelecidos contactos pró-ativos com centros escolares, escolas básicas e secundárias, estabelecimentos de restauração, feirantes entre outros intervenientes.

2.2.2 SERVIÇOS MUNICIPAIS

Os serviços municipais de recolha de resíduos urbanos são pouco significativos no panorama geral da gestão de resíduos urbanos. A CMPF tem como principal competência a gestão do ecocentro, no entanto desempenha também um importante papel na recolha seletiva dos resíduos verdes produzidos no município, resultantes da manutenção de parques e jardins e da varredura de ruas fora dos centros urbanos de Freamunde e Paços de Ferreira. É efetuada igualmente por serviços municipais uma recolha seletiva porta-a-porta nas escolas do município.

Em 2012, foram colocados por todo o território municipal 19 equipamentos de deposição e recolha de roupa, calçado, brinquedos e material escolar usado, denominados Roupões. O material depositado, insuscetível de ser reutilizado, é encaminhado para reciclagem e o que ainda for utilizável é entregue a instituições de solidariedade social.

O projeto não apresenta qualquer custo para a CMPF e dá um forte contributo ambiental, social e económico, uma vez que permite redução dos custos de recolha, transporte e tratamento deste tipo de resíduos, quando eram colocados nos contentores normais de recolha indiferenciada.

Este equipamento encontra-se sob a responsabilidade de uma empresa, UZARdeNOVO, que realiza a gestão dos roupões e faz também a recolha gratuita de resíduos têxteis nas empresas que o solicitem através da CMPF.

Recolha Seletiva de Resíduos

A recolha seletiva de resíduos de embalagens de plástico e metal, vidro, papel e cartão, sob a responsabilidade dos serviços municipais, é realizada em todas as escolas

existentes em território municipal. A recolha é realizada semanalmente e tem como principal objetivo a sensibilização da população estudantil para a importância da reciclagem e separação dos materiais. A recolha é efetuada por um funcionário e um veículo municipal. Os resíduos depois de recolhidos são transportados para o ecocentro.

Limpeza de Ruas, Manutenção de Espaços Verdes

As equipas de manutenção de espaços verdes e de limpeza de ruas da CMPF são constituídas por jardineiros e cantoneiros que efetuam varreduras de rua em todo o território municipal, com exceção para os centros urbanos de Freamunde e Paços de Ferreira, realizam limpeza das margens dos rios e ribeiros, e executam operações de manutenção de parques e jardins.

As operações de conservação e manutenção de parques e jardins envolvem a limpeza, desbaste, poda ou tratamento de árvores, arbustos ou qualquer outro tipo de vegetação em terrenos do domínio público municipal para garantir as condições de higiene, saúde e de prevenção contra o risco de incêndios e acidentes de viação.

Destas operações resultam elevadas quantidades de resíduos verdes que são transportadas pelos próprios serviços municipais para o ecocentro.

Ecocentro Municipal

O Ecocentro Municipal de Paços de Ferreira está localizado na freguesia de Carvalhosa. Destina-se aos munícipes e consiste numa área vigiada dedicada à receção de resíduos que, pelas suas dimensões ou características, não são passíveis de ser recolhidos pelos meios normais de recolha, e também outros componentes dos resíduos que possam ser valorizados. No ecocentro estão instalados contentores destinados a receber os diferentes tipos de resíduos, como os resíduos volumosos e entulhos, papel e cartão, vidro, plástico e embalagens de plástico, pilhas e baterias, óleos usados e resíduos de jardins, resíduos de madeira e resíduos de equipamentos elétricos e eletrónicos (REEE).

Os ecocentros funcionam como centros de recolha dos resíduos para valorização e reciclagem, constituindo desta forma, elementos essenciais para a melhoria do sistema de gestão de resíduos urbanos, permitindo a recuperação de materiais que de outra forma seriam desperdiçados.

No ecocentro são rececionados os resíduos provenientes das operações das equipas municipais de limpeza e manutenção de espaços verdes, da recolha seletiva nas escolas, de particulares e empresas. A estrutura do ecocentro e a respetiva distribuição dos contentores no ecocentro é ilustrada na Figura 22.

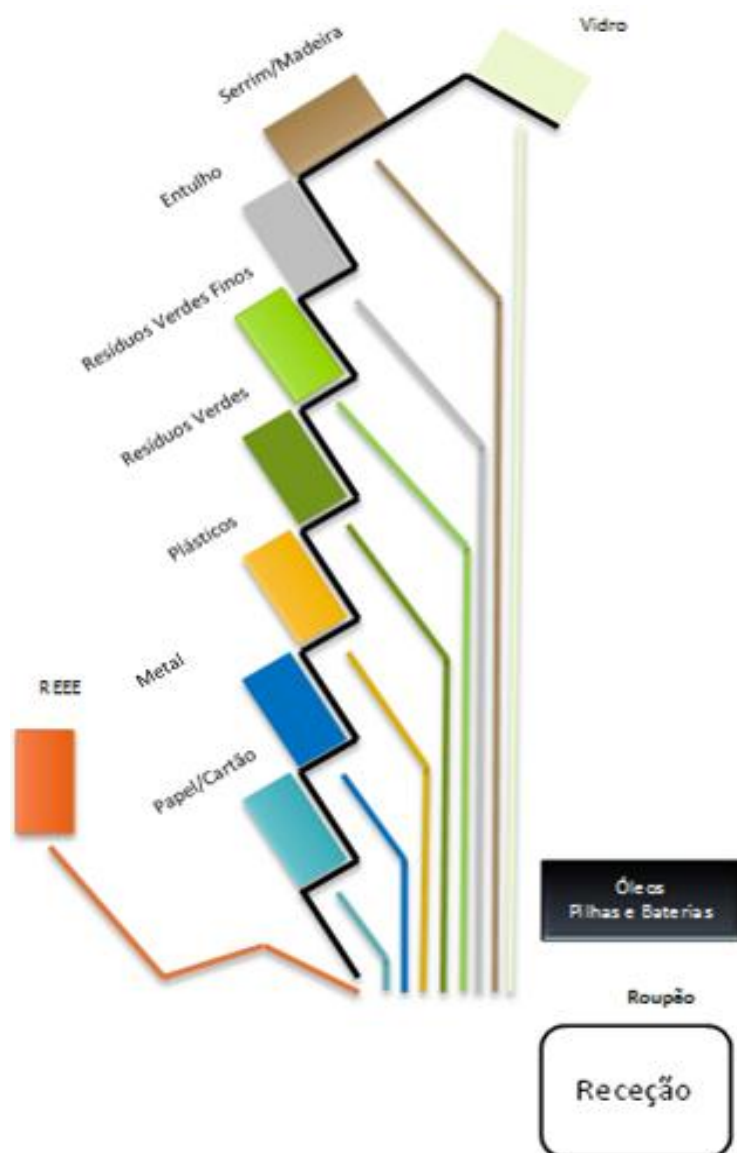


Figura 22 – Disposição dos diferentes contentores no ecocentro (Adaptado de Câmara Municipal de Paços de Ferreira ^[74]).

Os contentores existentes no ecocentro pertencem às entidades que realizam a recolha e transporte dos resíduos a partir do ecocentro, ou seja, às entidades que realizaram o seu encaminhamento, nomeadamente para valorização. Desta forma, grande parte dos contentores (papel/cartão, plásticos, REEE, entulho, metal e vidro) pertence à Ambisousa.

Os contentores de resíduos verdes são da responsabilidade da CMPF, uma vez que, atualmente, estes resíduos não são enviados para instalações de valorização ou eliminação.

A evolução da quantidade total de resíduos entre 2007 e 2012 é visível na Figura 23.

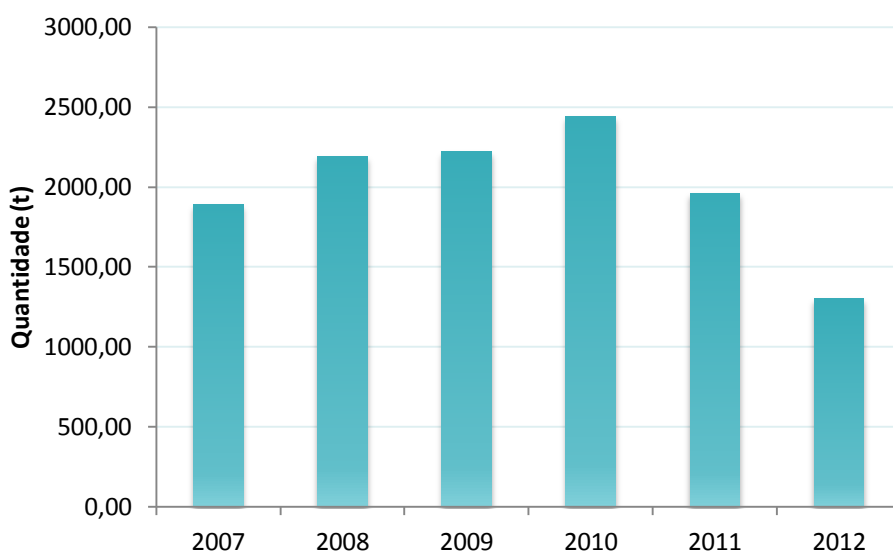


Figura 23- Quantidade total de resíduos rececionados no ecocentro municipal entre 2007 e 2012.

Tal como é possível observar na Figura 23, a quantidade de resíduos rececionados no ecocentro teve uma evolução relativamente constante e crescente entre 2007 e 2010. Em 2007 foram rececionadas 1 890,6 t de resíduos e em 2010 2 443,0 t, o que corresponde a um aumento de cerca de 29 %. Em sentido contrário, entre 2010 e 2012 verificou-se um decréscimo da quantidade de resíduos, sendo que em 2012 se atingiu a quantidade mínima no período de tempo 2007-2012. Em 2012, receberam-se 1 302,4 t, menos 47 % da quantidade recebida em 2010. Este facto pode estar relacionado com a diminuição da atividade económica registada no município que resulta em

menor produção de resíduos mas também do desvio para o mercado paralelo de algumas frações de resíduos recicláveis, atualmente muito valorizados.

Na Figura 24 é possível observar a evolução da quantidade de resíduos dos diferentes fluxos recebidos no ecocentro.

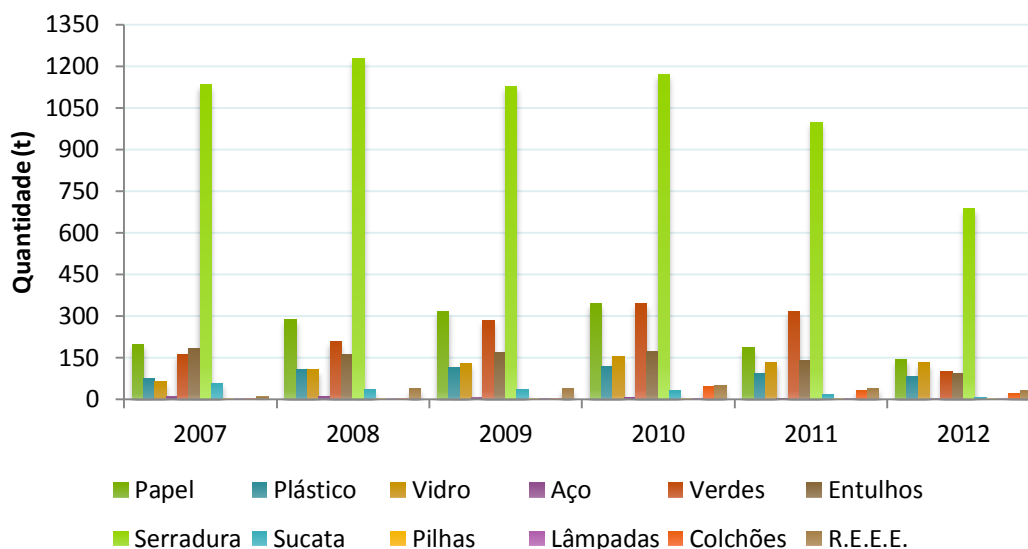


Figura 24- Quantidades de resíduos dos diferentes fluxos específicos rececionados no ecocentro.

O resíduo rececionado em maiores quantidades entre 2007 e 2012 é a serradura de madeira. Num município como Paços de Ferreira é inevitável analisar a quantidade de resíduos de madeira produzidos e enviados para o ecocentro. De salientar que os resíduos de madeira recebidos são maioritariamente oriundos de pequenas indústrias de mobiliário, existentes em grande número em todo o município. No entanto, a crise económica sentida no país reflete-se na produção dessas empresas e consequentemente na menor produção de resíduos. Pela análise da Figura 24 é possível observar que, à semelhança do que se observa com os outros resíduos, a quantidade de serradura recebida em 2012 foi bastante inferior à dos anos anteriores.

Na Tabela 13 encontram-se os valores relativos às quantidades dos diferentes resíduos rececionados no ecocentro em 2011 e 2012.

Tabela 13 – Quantidade de cada tipo de resíduos rececionados no ecocentro

Resíduo	Quantidade rececionada (t)	
	2011	2012
Papel	185,60	144,98
Plástico	92,20	80,43
Vidro	133,98	131,56
Aço	3,74	2,42
Verdes	316,85	99,8
Entulhos	138,54	93,98
Serradura	997,17	685,88
Sucata	17,69	7,56
Pilhas	0,42	0,40
Lâmpadas	3,02	1,64
Colchões	33,10	22,02
R.E.E.E.	38,76	31,76
Total	1961,07	1302,43

A Figura 25 ilustra a composição dos diversos tipos de resíduos recebidos, em 2011, no ecocentro.

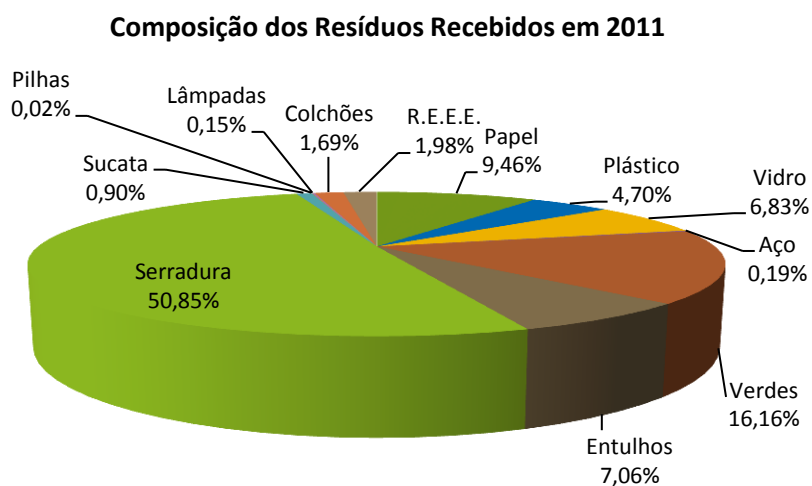


Figura 25 - Composição dos resíduos recebidos no ecocentro em 2011.

Na Figura 26 é apresentada a composição dos diversos tipos de resíduos recebidos, em 2012, no ecocentro.

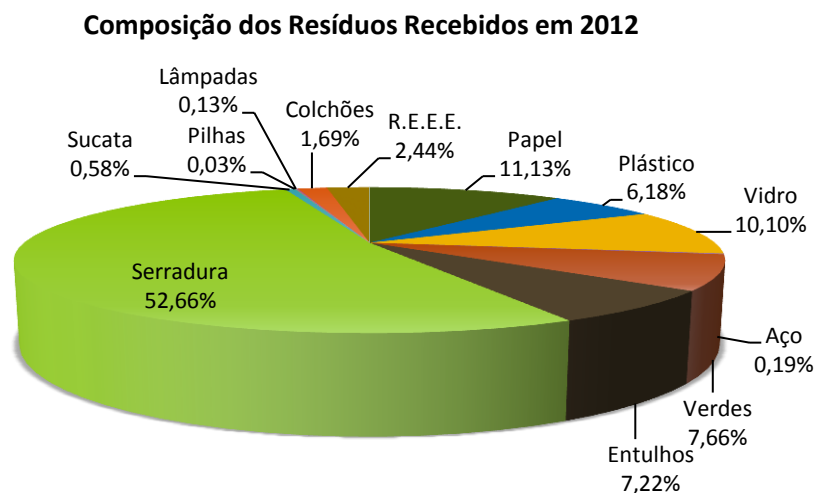


Figura 26 – Composição dos resíduos recebidos no ecocentro em 2012.

Pela análise da Tabela 13, da Figura 25 e Figura 26, é possível concluir que, em 2012, a quantidade de resíduos de serradura de madeira corresponde a mais de metade da totalidade de resíduos recebidos (cerca de 53 %), isto é 685,88 t por ano, o que já se verificava em 2011, em que a quantidade de serradura corresponde a cerca de 50 % do total. Em 2012, os resíduos de papel, vidro, verdes e entulhos representam, por ordem decrescente de importância, os restantes resíduos mais importantes, com percentagens de 11,13 %, 10,10 %, 7,66 % e 7,22 %, respetivamente, sendo que se verifica uma ligeira diferença relativamente a 2011. Em 2011, a segunda tipologia mais importante eram os resíduos verdes, com cerca de 16,16 %, seguido do papel e entulho com 9,46 % e 7,06 %, respetivamente.

2.2.3 AMBISOUSA

A Ambisousa – Empresa Intermunicipal de Tratamento e Gestão de Resíduos Sólidos, EIM trata os resíduos urbanos de toda a população do Vale do Sousa. Explora os dois aterros sanitários para onde são encaminhados os resíduos urbanos produzidos e envia para reciclagem através da Sociedade Ponto Verde, após triagem realizada em três unidades, o resultado da recolha seletiva de toda a sua população, estimada em cerca de 330 000 habitantes.

A Ambisousa cobre a área geográfica do Vale do Sousa e serve um conjunto de seis municípios, Castelo de Paiva, Felgueiras, Lousada, Paços de Ferreira, Paredes e Penafiel.

Tem a sua sede no município de Lousada, e tem como objetivo a exploração da atividade de recolha, transferência, tratamento e deposição de resíduos sólidos, de tratamento e rejeição de efluentes, e de limpeza e higiene públicas, na área geográfica do Vale do Sousa. Contudo, as funções da Ambisousa têm-se focado no Tratamento dos Resíduos Sólidos Urbanos produzidos nos seis municípios que integram a Valsousa, e na gestão da triagem no mesmo espaço geográfico.

Tem atualmente em funcionamento dois aterros sanitários, duas estações de triagem e duas centrais de valorização energética de biogás, em Lustosa e Penafiel, e o aterro de inertes de Rio Mau.

O aterro sanitário de Lustosa, localizado no município de Lousada, é a infraestrutura da Ambisousa em onde são depositados os resíduos urbanos provenientes dos municípios de Felgueiras, Lousada e Paços de Ferreira. O aterro foi inicialmente projetado para um tempo de vida útil de 10 anos, com capacidade de deposição de 420 000 t, no entanto o precoce alcance da capacidade limite levou à reestruturação do aterro, no sentido de otimizar a capacidade dos locais em exploração, prolongando o funcionamento do aterro por cerca de mais 5 anos ^[79].

O desempenho financeiro da Ambisousa permitiu que em 2011 o valor da tarifa de deposição de resíduos, cobrada aos municípios produtores, diminui-se até ao valor de 15,71 €/t ^[79].

Em 2011 produziram-se em todo o Vale do Sousa 132 024,74 t de resíduos urbanos (incluem-se os RCD), das quais mais de 90% (123 210,10 t) foram depositadas nos aterros sanitários de Lustosa (61 300,56 t) e de Penafiel (61 909,54 t). Relativamente aos RSU, foram produzidas, em 2011, 122 664,68 t de resíduos, o que reflete uma diminuição de 7 422,56 t, em cerca de 6%, relativamente a 2010. No ano de 2011 foram ainda produzidas e encaminhadas para aterro 394,82 t de refugo proveniente da estação de triagem da de Lustosa (Tabela VIII-1 do Anexo VIII)

A quantidade depositada em aterro (em toneladas) e a capitação diária de RSU (kg/hab/dia) entre 2007 e 2011, em Paços de Ferreira, é apresentada na Figura 27.

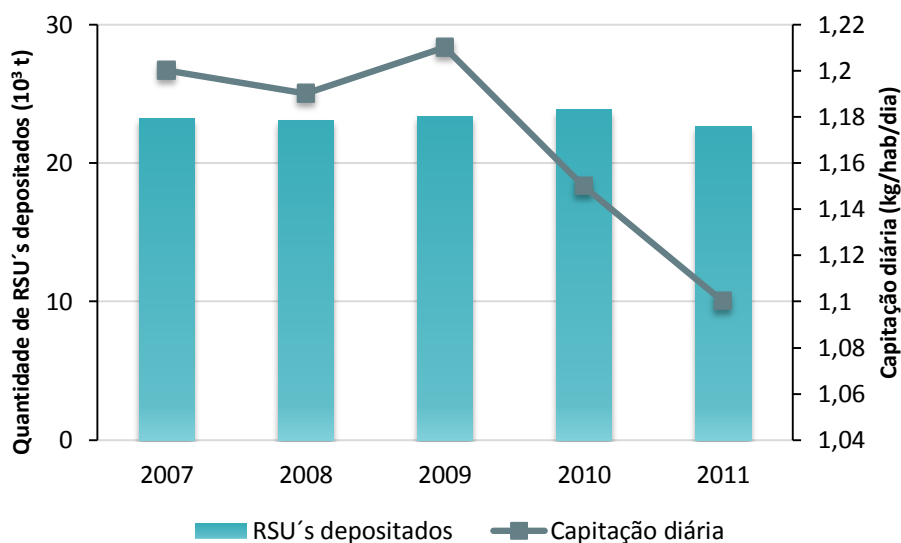


Figura 27 – Evolução da capitação diária de resíduos (kg/hab/dia) em Paços de Ferreira de 2007 a 2011 (Adaptado de Ambisousa [79] [80] [81] [82] [83]).

A quantidade de resíduos provenientes da recolha indiferenciada que foram depositados em aterro não sofreu alterações significativas desde 2007 até 2011, no entanto entre 2007 e 2010 observou-se um ligeiro aumento, de cerca de 597,9 toneladas. Entre 2010 e 2011 observou-se um decréscimo, registando-se em 2011 o valor mais baixo do período em questão, 22 634,44 t.

Atendendo à política de gestão de resíduos adotada atualmente é importante averiguar a evolução da quantidade de resíduos recolhidos seletivamente. Essa evolução é ilustrada na Figura 28.

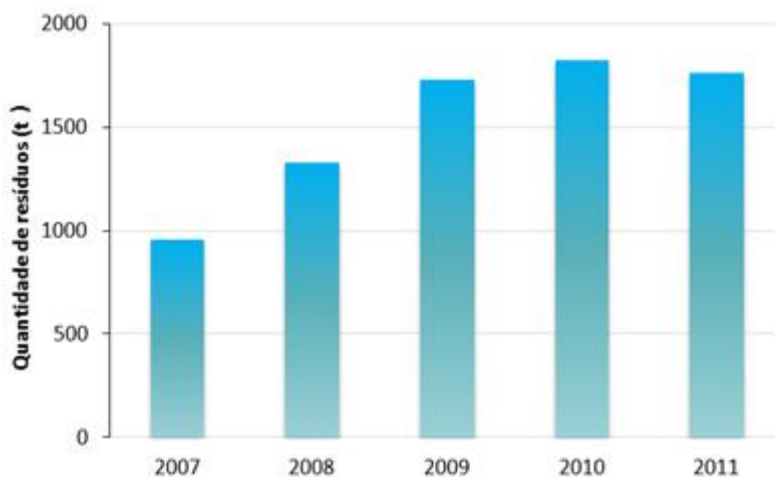


Figura 28 – Evolução da recolha seletiva em Paços de Ferreira de 2007 a 2011 (Adaptado de Ambisousa^{[79] [80] [81] [82] [83]}).

A quantidade de resíduos recolhidos seletivamente teve um aumento significativo desde 2007 até 2010, o que demonstra o sucesso das políticas de reutilização e reciclagem adotadas. Em 2011, registou-se uma pequena diminuição que está em conformidade com o decréscimo verificado na quantidade de resíduos depositados em aterro, revelando a quebra da captação de resíduos. Em 2011, foram enviadas para reciclagem 1 760,8 t de resíduos.

O sistema de gestão de resíduos no município de Paços de Ferreira tem associados custos de operação, especialmente relacionados com os serviços da SUMA e com as tarifas de deposição de resíduos em aterro, aplicadas pela Ambisousa. Na tabela são apresentados os valores relativos ao ano 2011.

Tabela 14- Custos associados aos serviços de gestão de resíduos urbanos no município de Paços de Ferreira, em 2011.

Despesas 2011	
SUMA	Recolha Indiferenciada 684 775,20 €
	Recolha Seletiva 133 223,50 €
	Recolha de Monos e Monstro 10 400,04 €
	Limpeza Urbana 285 156,11 €
	Revisão de Custos 0,023139
	Total 1 132 723,16 €
<hr/>	
	Ambisousa 446 711,01 €
	Total 1 579 434,17 €

A análise da Tabela 14 revela que a atividade mais dispendiosa de todo o sistema de gestão de resíduos de Paços de Ferreira é a recolha indiferenciada de RSU. Verifica-se que as operações de limpeza urbana exercidas pela SUMA representam a segunda atividade mais onerosa, sendo que numa perspetiva de redução de custos foram limitados, em 2012, o número de serviços de limpeza urbana efetuados pela SUMA.

2.3 GESTÃO DE BIORRESÍDUOS

Tal como tem vindo a ser referido ao longo do presente trabalho, os biorresíduos produzidos em paços de Ferreira têm diferentes proveniências e são recolhidos por distintos sistemas de recolha. Na Figura 29 encontram-se as diferentes origens e o destino final dos biorresíduos produzidos em território municipal.

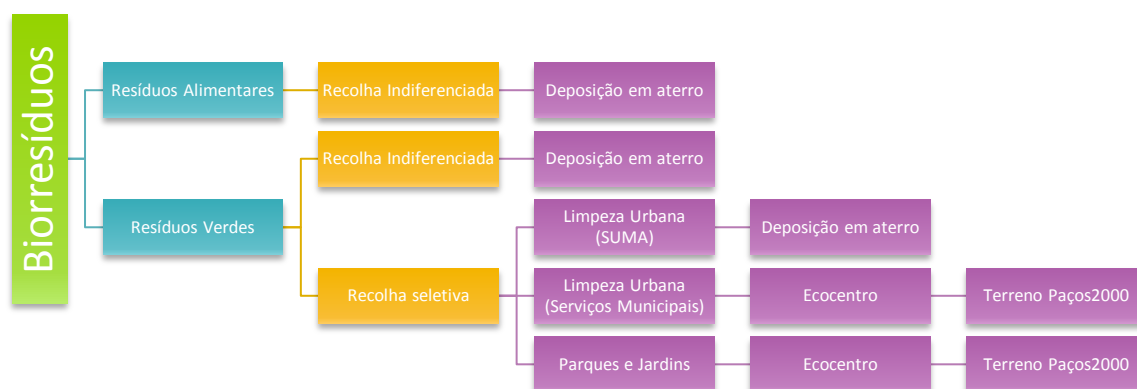


Figura 29- Proveniência e destino dos biorresíduos produzidos em Paços de Ferreira

No âmbito deste trabalho dá-se especial importância aos resíduos verdes, devido a elevada quantidade produzida e à inexistência de um processo de valorização adequado para este tipo de resíduos.

Até 2011, os resíduos verdes rececionados no ecocentro eram enviados para a Estação de Compostagem de Resíduos Verdes de Penafiel, no entanto essa operação revelou-

se inviável, nomeadamente em relação aos custos que a si tinha associados, nomeadamente em relação aos transportes dos resíduos. Atualmente, os contentores de resíduos verdes são encaminhados para um terreno pertencente a uma associação de cariz social, Associação para a Promoção das Classes Sociais Menos Favorecidas - Paços 2000, onde funciona uma horta comunitária. Os resíduos são depositados e sofrem um processo de compostagem natural em pilha de compostagem passiva sem nenhum controlo.

A problemática da gestão dos resíduos verdes no município de Paços de Ferreira assume extrema importância, uma vez que estes são produzidos em grande quantidade e não há atualmente uma solução viável para o seu destino final. À semelhança do que se observa em outros municípios como Montemor-o-Novo e Seixal, a construção de uma central municipal de compostagem de resíduos verdes seria uma opção viável e vantajosa. Relativamente aos resíduos de Madeira, são enviados para uma unidade de produção de pellets, instalada no município de Lousada, a JunglePower.

Relativamente aos resíduos alimentares, não é atualmente efetuado nenhum tipo de recolha seletiva, por isso toda a quantidade de resíduos produzidos no município é contabilizada na composição os resíduos indiferenciados, sendo por isso depositada na sua totalidade em aterro.

Os resíduos alimentares provêm essencialmente das habitações, das unidades de fornecimento de refeições, como restaurantes e cantinas de escolas, instituições e empresas, e das unidades de transformação de alimentos. Tendo em atenção as diferentes origens dos resíduos alimentares, tornou-se impossível realizar, em tempo útil, uma caracterização das fontes produtoras destes resíduos.

A caracterização dos resíduos sólidos indiferenciados dos municípios do Vale do Sousa, elaborada em 2011 pela Ambisousa, forneceu uma estimativa da quantidade total de resíduos verdes produzidos em Paços de Ferreira e depositados nos contentores de resíduos indiferenciados. A composição física dos RSU é apresentada na Figura 30.

Composição média dos resíduos indiferenciados em Paços de Ferreira

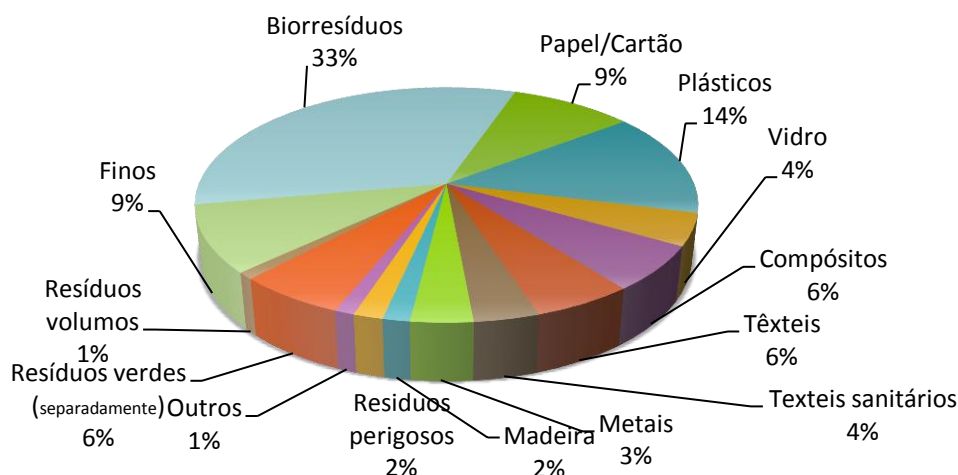


Figura 30 – Composição física dos resíduos indiferenciados em Paços de Ferreira em 2011 (Adaptado de Ambisousa^[84])

Analisando os resultados da caracterização física dos resíduos produzidos, para o ano de 2011, expostos na Figura 30, verifica-se a evidente predominância dos biorresíduos com um valor médio de 33,1 %. Sabendo que a quantidade total de RSU's depositados em aterro foi de 22 634, 44 t (Tabela VIII-1), estimou-se que foram recolhidos 7469,37 toneladas de biorresíduos, em Paços de Ferreira.

Na caracterização física dos indiferenciados, os biorresíduos englobam os resíduos alimentares e os resíduos de jardim. A composição física dos biorresíduos é apresentada na Figura 31.

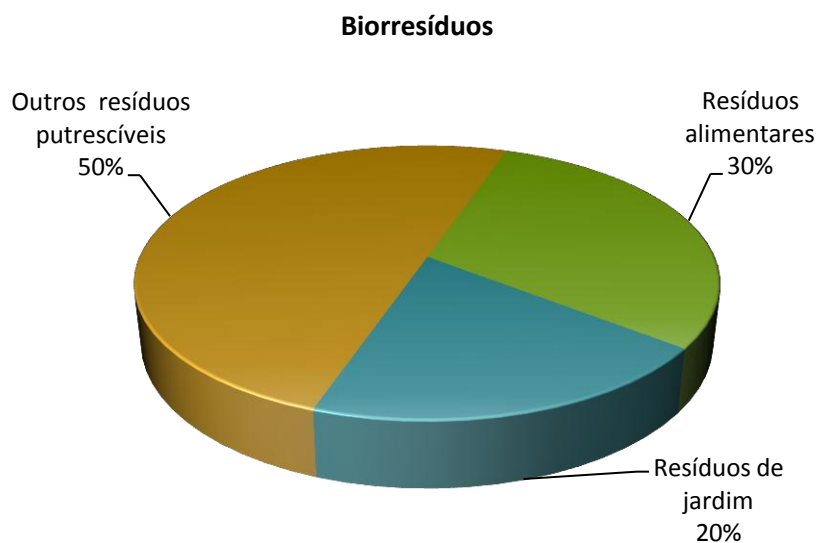


Figura 31 - Composição física dos Biorresíduos em Paços de Ferreira em 2011 (Adaptado de Ambisousa^[84]).

Na Figura 31 observa-se que 30 % dos biorresíduos são resíduos alimentares e 20 % são resíduos de jardim, a que correspondem valores na totalidade dos resíduos de 10 % e 6,56 %, respetivamente. Tendo em conta novamente o valor da Tabela VIII-1 estimou-se que em 2011 se recolheram 2 263,4 t de resíduos alimentares e 1484,8 t de resíduos de jardim.

Tendo em conta a importância da fração de biorresíduos depositada em aterro, a Ambisousa desenvolveu um projeto de compostagem doméstica. Este projeto teve início em 2009 com um projeto-piloto no município de Paços de Ferreira.

A elevada aderência ao projeto levou ao seu alargamento a outros municípios. Em 2012, encontra-se implementado em Paços de Ferreira, com cerca de 352 compostores, em Penafiel e Lousada com 473 e 118, respetivamente. Nos restantes Municípios do Vale do Sousa ainda apenas foram distribuídos compostores pelos estabelecimentos de ensino.

O projeto envolve a distribuição gratuita de compostores e a monitorização e acompanhamento do processo, realizada por uma equipa especializada, no sentido de garantir a sua boa utilização, de forma a garantir e estimar o desvio efetivo de resíduos orgânicos dos Aterros. Assim, atendendo ao número de contentores distribuídos estima-se, que em 2011, foram desviadas cerca de 240 t de resíduos orgânicos dos aterros e consequentemente produzidas cerca de 107 t de composto.

METODOLOGIA

3.1 COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS VERDES

3.1.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

3.1.1.1 Resíduos Verdes

O presente trabalho englobou um estudo preliminar de compostagem de diferentes resíduos verdes rececionados no ecocentro de Paços de Ferreira. O objetivo deste estudo foi avaliar as necessidades de pré-processamento, misturas, assim como condições processuais que possam servir de apoio em futura unidade de compostagem a maior escala.

Tendo em consideração que as matérias-primas utilizadas no ensaio de compostagem são genericamente conhecidas, encontrando-se na literatura valores que as caracterizam, e também por questões de limitação temporal, nas características das matérias-primas e para suporte ao planeamento, optou-se pela utilização dos valores teóricos.

A descrição e as características dos resíduos utilizados neste trabalho apresentam-se de seguida.

a. Aparas de Relva

O principal resíduo utilizado no ensaio de compostagem foi as aparas de relva. Isto, uma vez que este material constitui a maior fração da totalidade de resíduos verdes recebidos no ecocentro de Paços de Ferreira, como se pode constatar visualmente na Figura 32. A abundância deste material é explicada pelo vasto número de espaços verdes em todo o município mas também pela existência de complexos desportivos,

nomeadamente quatro campos de futebol relvados, de equipas profissionais de futebol, cujas aparas de relva proveniente da sua manutenção são igualmente encaminhadas para o ecocentro.



Figura 32 - Contentor dos resíduos verdes finos do ecocentro de Paços de Ferreira (vista de cima).

A Tabela 15 apresenta os valores típicos dos parâmetros que caracterizam a matéria-prima aparas de relva, utilizados na estimativa da quantidade de material a incorporar em cada uma das pilhas de compostagem construídas e obtidos através de um escrutínio aos valores disponíveis na literatura.

Tabela 15- Características da matéria-prima aparas de relva ^[85].

Aparas de Relva	
	Valor Típico
Humidade (% m/m, base húmida)	82,0
Razão C/N (Base seca)	9,0 – 25,0
Azoto (% base seca)	2,0 – 6,0
Massa Volúmica (kg m ⁻³)	180,0 – 260,0

As aparas de relva caracterizam-se pelo elevado teor em humidade e por apresentarem um valor ligeiramente baixo de razão Carbono/Azoto compreendido entre 9 e 25, sendo por isso uma boa fonte de azoto ^[14]. Normalmente apresentam um

potencial de odor moderado e são consideradas um bom material de compostagem quando conjugado com materiais com maior dimensão, uma vez que um processo de compostagem apenas com aparas de relva tende a tornar-se anaeróbio devido à compactação do material.

b. Aparas de Relva com Outros Resíduos de Jardim

A matéria-prima aparas de relva com outros resíduos de jardim consiste numa mistura aleatória de aparas de relva com pequenos ramos e folhas, tal como é visível na Figura 33. Considera-se esta uma tipologia de resíduos, uma vez que estes resíduos chegam misturados ao ecocentro e existe interesse em avaliar a sua utilização nesta forma, embora atualmente sejam depositados conjuntamente com os anteriores. Estes resíduos resultam normalmente da manutenção de jardins municipais com elevada quantidade de árvores, arbustos e flores, daí a presença de outros resíduos de pequena dimensão misturados com as aparas de relva e por isso é feita a diferenciação entre este resíduo e as aparas de relva. É também uma parte importante da constituição do contentor dos resíduos verdes finos do ecocentro (Figura 32).



Figura 33 – Aparas de relva com outros resíduos de jardim.

Os valores típicos dos parâmetros obtidos da literatura que caracterizam a matéria-prima aparas de relva com outros resíduos de jardim, utilizados na estimativa da

quantidade de material a incorporar em cada uma das pilhas de compostagem construídas apresentam-se na Tabela 16.

Tabela 16 - Características da matéria-prima aparas de relva com outros resíduos de jardim ^[85].

Aparas de Relva com outros Resíduos de jardim	
	Valor Típico
Humidade (% m/m, base húmida)	15,0
Razão C/N (Base seca)	19,3
Azoto (% base seca)	2,0
Massa Volúmica (kg m ⁻³)	250,0

Constata-se a elevada proximidade de alguns dos parâmetros deste resíduo aos valores das aparas de relva. As aparas de relva com outros resíduos de jardim caracterizam-se pelo baixo teor em humidade, comparativamente, 15 %, sendo esta a principal e importante diferença relativamente às aparas de relva.

c. Folhas

As folhas utilizadas no ensaio são secas e maioritariamente provenientes de árvores do género *Platanus*. Este material é rico em carbono e apresenta boa degradabilidade, necessitando normalmente de redução de calibre para auxiliar a decomposição, antes da sua incorporação nas pilhas ^[14]. Apesar da facilidade na sua obtenção em grandes quantidades, a sua disponibilidade é sazonal, o que impede a sua utilização durante todo o ano, caso não haja armazenamento. As características das folhas das árvores podem ser ligeiramente distintas entre as diferentes espécies ou géneros, no entanto, este material quando seco, é considerado rico em carbono e pobre em azoto.

Por falta de equipamento adequado não foi realizada a trituração das folhas antes da sua integração nas pilhas (Figura 34), o que poderá resultar num aumento do tempo necessário de compostagem.

A Tabela 17 expõe um resumo das características das folhas, de acordo com a literatura.

Tabela 17 – Características da matéria-prima folhas^[85].

Folhas	
	Valor Típico
Humidade (% m/m, base húmida)	38,0
Razão C/N (Base seca)	40 - 80
Azoto (% base seca)	0,5 – 1,3
Massa Volúmica (kg m ⁻³)	60,0 – 80,0

As folhas secas são um material bastante leve, com uma percentagem de humidade baixa, cerca de 38%, e com uma razão Carbono/Azoto relativamente elevada, compreendida entre 40 e 80, o que corresponde a uma percentagem de azoto bastante baixa, segundo os valores presentes na literatura e expressos na Tabela 17, compreendido entre 0,5% e 1,3%.

Tal como já referido, as folhas utilizadas apresentavam uma dimensão bastante elevada, comparativamente com outras matérias-primas utilizadas, tal como se pode observar na Figura 34.



Figura 34 - Folhas utilizadas no ensaio de compostagem.

d. Serradura de Madeira

A serradura de madeira (serrim) é um tipo de resíduo de madeira constituído pelas partículas de pequena dimensão resultantes dos processos de transformação e corte de madeira.

Num município tradicionalmente ligado à indústria do mobiliário e transformação da madeira, como o Paços de Ferreira, verifica-se uma grande produção deste tipo de resíduo, como anteriormente referido, sendo depositado em grandes quantidades no ecocentro de Paços de Ferreira (Figura 35A). Na Tabela 18 são apresentadas as características principais deste resíduo.

Tabela 18 – Características da matéria-prima serradura de madeira ^[85].

Serradura de Madeira	
	Valor Típico
Humidade (% m/m, base húmida)	19 - 65
Razão C/N (Base seca)	200 - 750
Azoto (% base seca)	0,06 – 0,8
Massa Volúmica (kg m ⁻³)	445 - 620

Esta matéria-prima é caracterizada por ser relativamente seca e rica em carbono. Possui um teor de humidade entre 19 % e 65 % e um valor elevado da razão Carbono/Azoto. A serradura de madeira é um material muito fino, tal como se observa na Figura 35B.

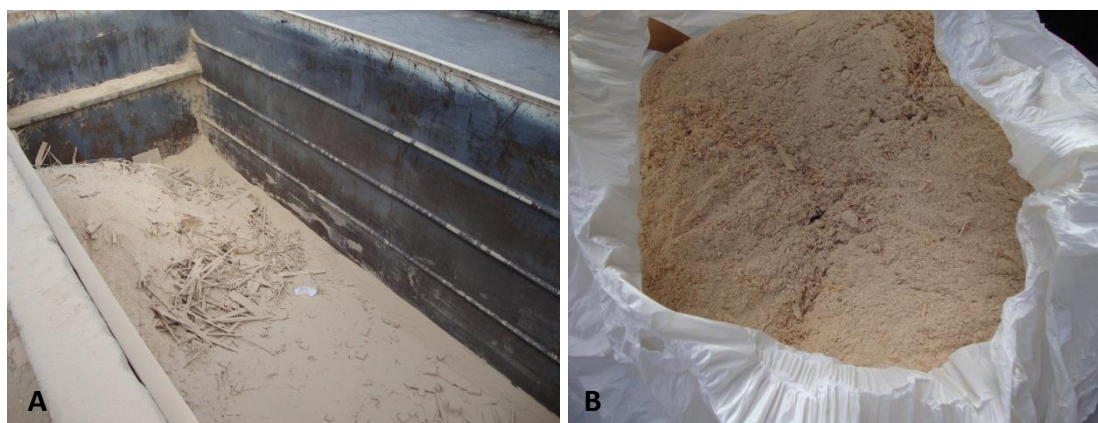


Figura 35 - A- Contentor dos resíduos de serradura de madeira (vista de cima); B - Serradura de madeira utilizada no ensaio de compostagem.

3.1.1.2 Construção das Pilhas de Compostagem

O processo de construção das pilhas de compostagem do ensaio piloto envolveu a utilização de diferentes equipamentos, quer na pesagem das matérias-primas a incorporar, quer na montagem das pilhas. Na pesagem das matérias-primas foi utilizada uma balança decimal (Figura 36A) e recipientes de plástico (Figura 36B).

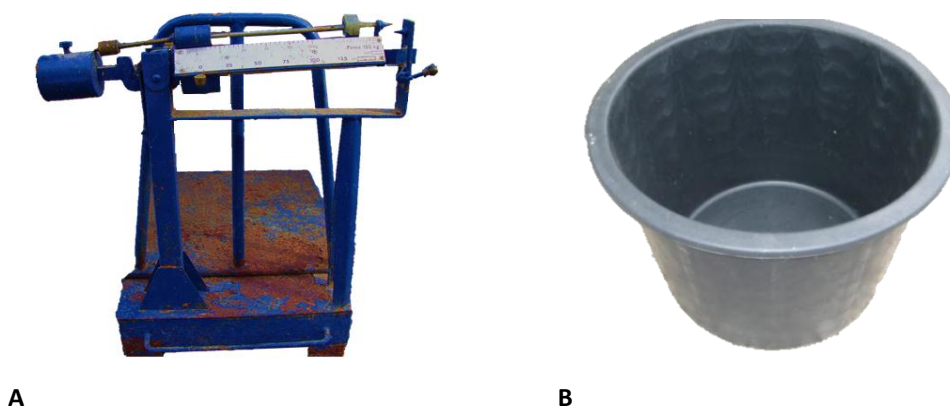


Figura 36 - A- Balança Decimal; B- Recipiente de auxílio à pesagem das matérias-primas.

A montagem das pilhas foi realizada com o auxílio de uma enxada, um ancinho e uma forquilha.

3.1.1.3 Amostragem

No processo de recolha de amostras para determinações laboratoriais, dos resíduos utilizados na montagem das pilhas, de amostras das pilhas de compostagem ao longo do ensaio e do composto final foi utilizada uma pá de pequena dimensão, sacos de plástico para acondicionamento das amostras, corda para maior isolamento e preservação das amostras, e etiquetas para identificação.

3.1.1.4 Determinação da Temperatura

Para determinação da temperatura da pilha de compostagem foi utilizada uma sonda de temperatura com um termómetro digital microprocessador *DELTA OHM-HD 9016* (Figura 37).



Figura 37- *Delta OHM- HD 6016*-Termómetro digital microprocessador.

3.1.1.5 Determinação da Humidade

A análise da humidade das amostras foi realizada segundo a Norma EN 13040:1999 por gravimetria e envolveu a utilização dos seguintes materiais e equipamentos:

- Balança semi-analítica (*AND Electronic Balance*, erro $\pm 0,1$ g);
- Espátula;
- Placas de Petri;
- Estufa.

3.1.1.6 Determinação do pH

A análise do pH das amostras foi efetuada segundo a Norma EN 13037:1999, e envolveu a utilização dos seguintes materiais e equipamentos:

- Espátula;
- Matrizes de 300 ml;
- *Gobelets*;
- Vidros de relógio (para tapar gobelet);
- Balança semi-analítica (*AND Electronic Balance*, erro $\pm 0,1$ g);

- Agitador orbital (*P-Selecta Rotabit*);
- Água destilada;
- Equipamento para filtração em vácuo;
- Bomba de vácuo;
- Eléctrodo medidor de pH e temperatura (*CRISON pH meter GLP 21*).

3.1.1.7 Determinação da Granulometria

Para a determinação da granulometria das amostras utilizaram-se os materiais e equipamentos seguintes:

- Peneiros (malhas: 31,5 mm; 25 mm; 14 mm; 5 mm; 2 mm)
- Peneiradora vibratória (*Retsch*);
- Balança semi-analítica (*AND Electronic Balance*, erro $\pm 0,1$ g);
- Espátula;
- Gobelets (300 ml).

3.1.2 MÉTODOS

3.1.2.1 Construção das Pilhas de Compostagem

a. Dimensionamento das Pilhas

As pilhas de compostagem podem assumir diferentes formas (triangular, trapezoidal ou cónicas) dependendo das características dos materiais utilizados, as condições climáticas prevalecentes e do espaço disponível ^[34]. Por outro lado, a dimensão pilhas de compostagem deve obedecer a determinadas regras e fundamentos para o correto desenvolvimento do processo.

Segundo Kreith & Tchobanoglous ^[29], as pilhas devem ter uma largura entre 2,4 e 2,7 m e uma altura entre 1,5 e 1,8 m, no entanto outros autores referem que a largura da pilha deve ser cerca do dobro da altura ^[70]. Desta forma, tendo em conta a limitação

em termos de espaço para a construção e a tecnologia de compostagem adotada e tomando como base o estudo realizado por Fernandes ^[88], onde se desenvolveu um projeto na mesma escala que se pretende para este ensaio, optou-se pela construção de pilhas de secção trapezoidal (Figura 38) com um comprimento de 2,10 m, largura da base maior do trapézio de 1,5 m, largura da base menor do trapézio de 0,6 m (topo) e altura de 1,5 m. Com as dimensões adotadas, construíram-se assim pilhas com um volume de 3,31 m³ que se podem observar na Figura 39.

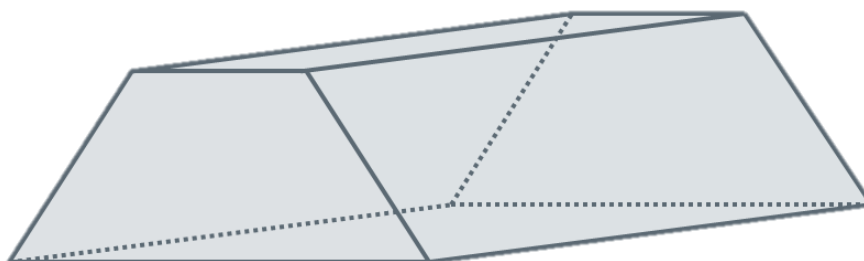


Figura 38 – Forma da Pilha de compostagem.



Figura 39 – Forma das pilhas de compostagem A,B e C após construção (Vista lateral) (23/10/2012).

b. Mistura e Quantidade de Materiais

Os resíduos utilizados para compostagem e a sua percentagem em cada uma das pilhas foram selecionados de acordo com a tipologia e quantidade de biorresíduos recebidos no ecocentro de Paços de Ferreira.

Tal como referido anteriormente, um dos parâmetros mais importantes no desenvolvimento de um processo de compostagem é o teor em humidade, o que o torna um fator limitante no processo de mistura dos materiais a compostar. Para ocorrência de condições ideais de compostagem, o teor de humidade na mistura deve estar compreendido entre 45-60% ^[86].

Considerando o fator limitante do processo, foram otimizadas as percentagens dos restantes componentes na mistura para que a humidade resultante estivesse dentro dos limites pretendidos. Neste cálculo foram utilizados valores típicos de humidade e massa volúmica para os diferentes resíduos a utilizar. Na Tabela 19 apresentam-se os valores de massa volúmica e humidade utilizados no cálculo da percentagem e quantidade de resíduos a adicionar a cada uma das pilhas de compostagem.

Tabela 19 - Valores típicos de Massa Volúmica (kg m^{-3}) e Humidade (% m/m, base húmida) das matérias-primas utilizadas. ^[85]

Matéria-prima	Massa Volúmica (kg m^{-3})	Humidade (% m/m, base húmida)
Aparas de relva	220	82
Aparas de relva com outros resíduos de jardim	250	15
Folhas	70	38
Serradura	400	42

O ensaio englobou a construção de três pilhas de compostagem (A, B e C) com diferentes misturas, nas quais a percentagem de aparas de relva foi sempre igual ou superior à percentagem de cada uma das restantes matérias-primas (individualmente). Na mistura relativa à pilha A, a percentagem de aparas de relva é superior (> 50 %) à dos restantes componentes e nas pilhas B e C representa 50 % da constituição da

pilha. Na pilha A os restantes componentes são apenas aparas de relva com outros resíduos de jardim, na pilha B são folhas e na pilha C são folhas e serrim.

A Pilha A foi construída apenas com o material que maioritariamente é colocado no contentor dos resíduos verdes finos, isto é, relva e uma mistura de relva com outros resíduos de jardim (chegam já misturados ao contentor), com percentagem de 75 % e 25 %, respetivamente. A construção desta pilha é do interesse da CMPF, uma vez que representa o contentor dos resíduos verdes finos. As percentagens foram obtidas após otimização dos valores para que a mistura tivesse uma humidade de aproximadamente 60%, com base nos valores de referência anteriormente apontados.

As pilhas B e C foram construídas com relva (50 %) mais os restantes componentes. Na pilha B, os restantes componentes foram folhas (50 %), tendo-se obtido um teor em humidade de 60 %. Na pilha C os restantes componentes são folhas e serradura de madeira (40 % e 10 % respetivamente), com os quais se obteve uma mistura com teor em humidade de 60 %. As percentagens das matérias-primas na mistura, em cada pilha, são apresentadas na Tabela 20.

Tabela 20 - Percentagem das matérias-primas utilizadas na constituição das pilhas de compostagem.

Pilha	Método de Arejamento	Mistura de Materiais	Proporção na Mistura (%)
A	Pilha revolvida	Aparas de relva	75
		Restantes componentes	25
		Aparas de relva com outros resíduos de jardim	25
B	Pilha revolvida	Aparas de relva	50
		Restantes componentes	50
		Folhas	50
C	Pilha revolvida	Aparas de relva	50
		Restantes componentes	50
		Folhas	40
		Serradura	10

Na Tabela 21 apresentam-se, para cada pilha de compostagem, os valores de humidade e densidade de cada mistura calculados através da média ponderada dos valores de humidade e densidade de cada um dos resíduos incorporados.

Tabela 21 - Valores de massa volúmica (kg m^{-3}) e humidade (% m/m, base húmida) da mistura em cada uma das pilhas.

Pilha	Massa Volúmica (kg m^{-3})	Humidade (% m/m, base húmida)
A	228	65,2
B	145	60,0
C	178	60,4

Considerando a massa volúmica do resíduo (Tabela 21) e o volume da pilha estimado ($3,31 \text{ m}^3$) calculou-se as quantidades de resíduos a incorporar em cada pilha. Na Tabela 22 expõem-se essas quantidades.

Tabela 22 - Quantidade de materiais a adicionados a cada pilha de compostagem.

Matéria-prima	Pilha A	Quantidade de material (kg)		Total
		Pilha B	Pilha C	
Aparas de relva	545,7	363,8	363,8	1273,4
Aparas de relva com outros				
Resíduos de jardim	206,7	0	0	206,7
Folhas	0	115,8	92,6	208,4
Serradura	0	0	132,3	132,3
Total	752,5	479,6	588,7	1820,8

c. Construção

As três pilhas de compostagem foram construídas no Ecocentro de Paços de Ferreira. Devido às características do Ecocentro e à limitação em termos de espaço, não foi possível a construção de mais de 3 pilhas pelo que se optou por estudar 3 misturas em vez de uma só em triplicado tendo em consideração que estes resultados melhor serviriam para apoio à implementação futura do processo.

O processo de compostagem utilizado foram as pilhas revolvidas e a montagem das pilhas foi realizada dispondo alternadamente camadas de resíduos (Figura 40). Tal como referido por British Columbia of Agriculture and Food ^[85], após os dois primeiros revolvimentos, o material tendeu a ficar completamente homogeneizado.

Na montagem de cada uma das pilhas, todas as quantidades de matérias-primas calculadas foram adicionadas, alternadamente e de forma sequencial, até se atingir a altura inicialmente estipulada. Na pilha A, iniciou-se a montagem com uma camada de aparas de relva seguida de uma camada de aparas de relva com outros resíduos de jardim, até se alcançar a altura pretendida (Figura 40). A sequência de montagem na pilha B foi idêntica à da pilha A, apenas a aparas de relva com outros resíduos de jardim foi substituída por folhas. Neste caso, a última camada de resíduos foi aparas de relva, para impedir perda de material devido leveza das folhas. Relativamente à pilha C, começou-se por dispor uma camada de aparas de relva, seguida de uma camada de serradura de madeira, depois novamente uma camada de aparas de relva e para terminar uma camada de Folha. Esta sequência repetiu-se até ser atingida a altura estipulada (Figura 40).



Figura 40 - Esquema do procedimento sequencial de adição das matérias-primas na construção das pilhas de compostagem.

3.1.2.2 Controlo do Processo

Para garantir as condições adequadas ao funcionamento do processo é fundamental a monitorização de parâmetros de controlo, o que possibilita a identificação de

problemas e a sua mitigação. Foram monitorizados os parâmetros humidade, temperatura, pH, granulometria e revolvimento.

a. Amostragem

O processo de amostragem envolveu a recolha de amostras das matérias-primas que foram usadas para a construção das pilhas de compostagem e de amostras das três pilhas de compostagem para controlo do processo.

Este processo foi efetuado atendendo a um procedimento sequencial para que não ocorresse contaminação do material.

Procedimento experimental para amostragem das pilhas de compostagem:

1. Procedeu-se à identificação dos sacos de plástico com as respetivas etiquetas identificadoras (Figura 41);
2. Com o auxílio de uma pá de pequena dimensão, foi efetuada a recolha da amostra de cada uma das pilhas de compostagem para o respetivo saco já identificado. Essa amostra foi conseguida realizando uma recolha de pequenas amostras provenientes de diferentes pontos da pilha. Posteriormente procedeu-se à mistura e homogeneização dessas amostras no saco identificado, constituindo a amostra de material a analisar o mais representativa possível;
3. Após a disposição das amostras nos sacos, procedeu-se ao seu rápido fecho com um nó e com corda, para preservação.

Código da Amostra <small>Tabela 23</small>
Data de recolha da amostra (DD/MM/AAAA)

Figura 41- Etiqueta das amostras recolhidas das pilhas de compostagem.

Na Tabela 23 encontram-se os códigos de identificação das amostras recolhidas durante o ensaio de compostagem.

Tabela 23- Códigos das amostras recolhidas durante o ensaio de compostagem.

Código da Amostra		
Matérias-primas frescas		
Aparas de relva		<i>RC</i>
Aparas de relva com outros resíduos de jardim		<i>RC+RJ</i>
Folhas		<i>F</i>
Serradura		<i>S</i>
Controlo do processo		
	Pilha A	<i>A1</i>
Amostragem	Pilha B	<i>B1</i>
	Pilha C	<i>C1</i>

b. Determinação da Temperatura

A determinação da temperatura foi efetuada, diariamente e sensivelmente à mesma hora, através dos registos obtidos pela colocação no centro da pilha de compostagem de uma sonda de temperatura.

Expressão dos resultados:

Os resultados foram lidos diretamente no termómetro digital microprocessador e são expressos em °C.

c. Determinação da Humidade

A análise da humidade foi efetuada a partir da determinação da matéria seca, isto é, através da secagem, em estufa, de uma determinada quantidade de amostra durante um determinado período de tempo, tendo por base a Norma EN 13040:1999 por gravimetria (secagem a 100 ± 5 °C, até peso constante).

Procedimento experimental:

1. Procedeu-se à marcação das caixas de Petri com a identificação da amostra (Código da amostra e data);
2. Com uma balança semi-analítica, realizou-se a pesagem de cada caixa de Petri e registando o peso (P_1);
3. Colocou-se uma quantidade de amostra na respetiva caixa de Petri e pesou-se o conjunto, registando o valor da pesagem (P_2);
4. Dispôs-se os vários conjuntos caixa de Petri/amostra na estufa a $100 \pm 5^\circ\text{C}$, durante cerca de 12 horas;
5. Retirou-se os conjuntos da estufa para o exsicador e deixou-se arrefecer durante cerca de 1 hora;
6. Após uma 1 hora, pesaram-se os conjuntos e registou-se o respetivo valor (P_3).
7. Após o arrefecimento, pesaram-se os conjuntos, verificando se o peso é constante. Se sim, registou-se o valor (P_3), se não voltou-se a colocar na estufa e pesou-se mais tarde. Este procedimento foi repetido até se observar um peso constante.

Expressão dos resultados:

$$\text{Humidade (\%)} = \frac{(P_2 - P_3)}{(P_2 - P_1)} \times 100$$

Em que:

P_1 - Peso da caixa de Petri (g);

P_2 - Peso da amostra e caixa de Petri, antes da secagem (g);

P_3 - Peso da amostra e caixa de Petri, após a secagem (g).

d. Determinação do pH

A análise do pH foi realizada segundo a Norma EN 13037:1999.

Procedimento experimental:

a. Preparação da suspensão da amostra:

1. Pesou-se num *gobelet* uma quantidade de amostra equivalente a 60 ml e registou-se o respetivo peso;
2. Adicionou-se à amostra 300 mL de água destilada;
3. Transferiu-se as amostras para um matraz, tapando-o;
4. Colocou-se a agitar, no agitador orbital, durante 1 hora;
5. Após 1 hora procedeu-se à filtragem da amostra e posterior registo do pH.

b. Leitura do pH:

1. Antes de fazer a leitura, lavou-se o elétrodo medidor de pH com água destilada, limpou-se com papel e calibrou-se, com o cuidado de nunca deixar o elétrodo ao ar;
2. Agitou-se o frasco com a amostra (filtrado) e mergulhou-se o elétrodo medidor de pH na mesma;
3. Procedeu-se à leitura e registou-se o valor após estabilização.

Expressão dos resultados:

O valor de pH foi lido diretamente do aparelho de medição e expresso na escala de Sorenson, de 1 a 14.

e. Determinação da Granulometria

Procedimento experimental:

1. Montou-se o conjunto de peneiras sobre a Peneiradora vibratória, para que ficassem sobrepostas por ordem crescente de abertura de malha;
2. Pesou-se cerca de 100 g da amostra (M_{total}) e colocou-se no topo do conjunto de peneiras.

3. Colocou-se a tampa no topo da pilha de peneiras e prendeu-se a Peneiradora vibratória;
4. Ajustou-se a intensidade de vibração e efetuou-se o peneiramento durante 10 minutos;
5. Depois dos 10 minutos, pesaram-se as frações de material retidas em cada peneira, sendo realizada uma limpeza cuidada a cada peneiro para posteriores análises.

Expressão dos resultados:

O cálculo da percentagem de resíduo retido em cada peneira é feito através da seguinte expressão:

$$Fração_{>x} (\%) = \frac{M_{retida\ no\ peneiro\ x} \times 100}{M_{total}}$$

Em que:

Fração_{>x} (%) – Percentagem de amostra retida na peneira de malha x;

M_{total} – Massa total da amostra.

f. Arejamento da Pilha de Compostagem

Tal como já referido, o processo de arejamento de uma pilha de compostagem é fundamental para garantir condições aeróbias no sistema e foi realizado neste trabalho recorrendo ao revolvimento manual da pilha. A frequência do revolvimento é normalmente definida tendo em conta a temperatura da pilha, ou seja, realizado no caso de serem registadas temperaturas acima da gama ótima para a realização do processo (superiores a 60 °C durante mais de 1 hora) ou no caso da ocorrência de uma descida da temperatura, após a sua subida, para garantir que não está relacionada com a compactação do material. No decorrer do ensaio não foram atingidas as temperaturas de higienização adequadas, tornando o motivo do revolvimento a descida da temperatura.

O procedimento dos revolvimentos das pilhas envolveu a sua destruição e posterior reconstrução, fazendo com que o material localizado na camada externa da pilha se deslocasse para o seu interior. Este procedimento foi realizado com o auxílio de uma enxada e uma forquilha.

g. Medidas Corretivas

No sentido de reajustar os parâmetros de controlo do processo de compostagem, tais como a temperatura e humidade (a temperatura de higienização não estava a ser atingida e a humidade era demasiado elevada), foram posteriormente adotadas medidas mitigantes. Essas medidas consistiram na incorporação de um novo volume de resíduos às pilhas e na sua cobertura temporária a quando de condições climáticas desfavoráveis (elevada precipitação).

Para a implementação de medidas corretivas tornou-se necessária a formulação de uma nova mistura de resíduos. A metodologia adotada foi igual à referida no *Subcapítulo 3.1.2.1*.

A mistura de resíduos adicionada, denominada mistura 2, incorporou aparas de relva cortada e serradura de madeira em proporções ideais para que a mistura final destes dois materiais apresentasse um teor em humidade próximo do ideal, isto é, 60%. A escolha destes dois materiais relacionou-se principalmente com as limitações logísticas relacionadas com o manuseamento e manipulação dos resíduos, que se verificaram no decorrer deste trabalho. Apesar de serem rececionados diversos resíduos verdes e com diferentes características, não é possível a sua aplicação nas pilhas, devido ao seu tamanho e à falta de equipamento adequado à sua trituração.

Para não influenciar as condições iniciais do ensaio, foi adicionada a mesma mistura de materiais a todas as pilhas. Como as três pilhas possuíam dimensões idênticas (volume de $2,36 \text{ m}^3$) e se pretendia que as novas pilhas possuissem um volume final idêntico ao das pilhas iniciais, isto é, $3,31 \text{ m}^3$, adicionou-se um volume de resíduos de $1,01 \text{ m}^3$ a cada pilha. A opção pela formação de uma pilha com o mesmo volume da pilha inicial

relacionou-se com a tentativa de não influenciar as condições iniciais do ensaio e de que fossem garantidas dimensões mínimas para se atingirem temperaturas elevadas.

Considerando os valores de massa volúmica e humidade de cada um dos resíduos (Tabela 24), o volume de resíduos a adicionar e a sua percentagem na mistura, obtiveram-se as correspondentes quantidades, ou seja, em cada pilha, 100 kg de aparas de relva e 222 kg de serradura de madeira, tal como se observa na Tabela 25.

Tabela 24 - Valores típicos de massa volúmica (kg m^{-3}) e humidade (% m/m, base húmida) das matérias-primas utilizadas e da mistura resultante. ^[85]

Matéria-prima	Massa Volúmica (kg m^{-3})	Humidade (% m/m, base húmida)
Aparas de relva	220	82
Serradura	400	42
Mistura 2	319	60

Tabela 25 - Quantidade de materiais adicionados na mistura 2.

Matéria-prima	Proporção na mistura (%)	Mistura 2 Massa de Resíduo por pilha (kg)	Massa de Resíduo nas três pilhas (kg)
Aparas de relva	45	100	300
Serradura	55	222	666
Total		322	966

A adição dos materiais da mistura 2 a cada pilha de compostagem foi realizada dispondo por camadas e de forma alternada as matérias-primas, seguindo uma sequência até se serem incorporados todas as matérias-primas. A sequência de adição foi idêntica nas diferentes pilhas, encontrando-se esquematizada na Figura 42 a adição das matérias-primas à pilha B.

Paralelamente à adição da nova mistura de materiais procedeu-se à cobertura da pilha sempre que as condições climatéricas fossem desfavoráveis (elevada precipitação). A cobertura foi feita recorrendo a um material plástico e impermeável.



Figura 42 – Procedimento sequencial de adição dos resíduos da mistura 2.
Exemplo pilha B.

3.2 DIMENSIONAMENTO DO CENTRO MUNICIPAL DE COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS VERDES, CMC.

A construção de uma unidade de compostagem municipal é vantajosa para o município de Paços de Ferreira, por questões ambientais e também redução dos custos de deposição dos resíduos verdes em aterro.

Por outro lado, o tratamento dos resíduos verdes por compostagem permitirá a obtenção de composto que será aplicado como corretivo orgânico nos diversos espaços verdes municipais existentes.

O objetivo principal do projeto é encontrar uma solução com uma relação custo-eficácia elevada e adequada para a valorização dos resíduos verdes produzidos no município.

No dimensionamento do CMC é fundamental determinar a produção anual de resíduos verdes, numa perspetiva de definir a capacidade máxima de processamento pretendida.

O CMC foi dimensionado para processar o dobro da quantidade de resíduos verdes recolhidos em Paços de Ferreira durante um ano, neste caso específico tomou-se como base o ano de 2011, numa perspetiva de que no futuro o CMC esteja igualmente preparado para processar resíduos verdes provenientes de outros fluxos para além dos associados a Paços de Ferreira. Nesta determinação estipulou-se que a totalidade dos resíduos verdes recolhidos atualmente através dos circuitos de recolha indiferenciada de RSU's convergirá para o CMC. Outro fator tomado em conta na definição da capacidade máxima de processamento foi a perspetiva da incorporação nas pilhas de compostagem de uma tipologia diferente de resíduos, como a serradura de madeira.

De uma forma genérica o processo de compostagem de resíduos verdes englobará seis fases, apresentadas de seguida:

- i. Recolha de resíduos verdes através dos diferentes produtores;
- ii. Pré-processamento de resíduos (trituração e mistura);

- iii. Decomposição aeróbia (construção das pilhas de compostagem – fase ativa do processo);
- iv. Maturação;
- v. Afinação do composto (crivagem);
- vi. Armazenamento do composto.

3.2.1 DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS

O dimensionamento do CMC requer a análise da quantidade de resíduos verdes produzidos no município de forma a quantificar a capacidade de processamento mais adequada. A quantificação dos resíduos verdes produzidos no município de Paços de Ferreira é realizada pela Ambisousa e pelo próprio município. Através da Ambisousa são quantificados os resíduos verdes provenientes da recolha indiferenciada de resíduos urbanos e pelo município a quantidade rececionada no ecocentro municipal.

Pela Figura 24 é possível constatar que a quantidade de resíduos verdes e de serradura de madeira manteve-se relativamente constante entre 2006 e 2010, verificando-se apenas pequenas oscilações, no entanto a partir de 2010 tem-se observado um decréscimo mais significativo. Esta diminuição é ainda mais evidente no ano de 2012 e relativamente ao resíduo serradura de madeira.

Na Tabela 26 encontram-se as quantidades de resíduos verdes e serradura de madeira, rececionadas no ecocentro, relativas a 2011 e 2012.

Tabela 26 – Quantidade de resíduos verdes e serradura de madeira rececionados no ecocentro, nos anos de 2011 e 2012.

Resíduo	Quantidade (t)		Diminuição (%)
	2011	2012	
Resíduos verdes	316,85	99,80	68,5
Serradura de Madeira	997,17	685,88	31,2

Segundo os dados apresentados na Tabela 26, no ano de 2012 registou-se uma redução de 68,5 % quantidade de resíduos verdes e de 31,2 % de serradura de

madeira, relativamente ao ano de 2011. Relativamente à serradura de madeira esta diferença poderá estar relacionada com a diminuição da atividade industrial registada entre 2011 e 2012.

Desde o início de 2012, os resíduos verdes do ecocentro têm sido encaminhados para um terreno municipal onde se degradam naturalmente e são posteriormente incorporados no solo, numa tentativa de redução dos custos de deposição em aterro. No entanto, as dimensões do terreno não permitem a descarga de todos os resíduos rececionados ao longo do ano, havendo necessidade de gerir a sua admissão no ecocentro. Este facto poderá de certa forma justificar a diminuição da quantidade de resíduos verdes rececionados no ecocentro, uma vez que os contentores cheios não podiam ser descarregados, impedindo que novos resíduos sejam admitidos.

Para efeitos de cálculo do volume de resíduos que o CMC terá capacidade de tratar foram utilizados valores relativos ao ano de 2011, uma vez que se verificou uma escassez de informação relativa à quantificação e caracterização dos biorresíduos, mais concretamente dos resíduos verdes, produzidos no município de Paços de Ferreira.

Analisando os resultados da caracterização física anual dos resíduos produzidos, para o ano de 2011, expostos na Figura 30 e Figura 31, verifica-se a evidente predominância da categoria biorresíduos com um valor médio de 33,1 %, destes 30 % são resíduos alimentares e 20 % são resíduos de jardim, a que correspondem valores na totalidade dos resíduos de 10 % e 6,56 %, respetivamente.

As quantidades de resíduos verdes procedentes dos RSU's que se destinam aterro e as quantidades recolhidas no ecocentro são apresentadas na Tabela 27.

Tabela 27 – Quantidade de resíduos verdes (t) produzidos no município de Paços de Ferreira, em 2011. ^[79] ^[84]

Proveniência	Quantidade (t)
Recolha indiferenciada	1484,82
Ecocentro	316,85
Total	1801,67

Em 2011, de resíduos verdes recolheram-se indiferenciadamente 1 484,82 t e seletivamente (ecocentro) 316,85 t, o que corresponde a um total de 1 801,67 t.

3.2.2 SELEÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DO CENTRO MUNICIPAL DE COMPOSTAGEM

A seleção do local de implementação do centro de compostagem requer a avaliação de diversos parâmetros técnicos, sociais e económicos, tais como:

- Área disponível para a implementação do centro de compostagem;
- Compatibilidade com o PDM;
- Localização adequada de fácil acesso, de forma a minimizar as distâncias de transporte;
- Distância adequada entre local de implementação do centro e zonas residenciais, de forma a minorar eventuais conflitos sociais;
- Condições climatéricas;
- Características do solo e topografia.

Segundo o documento de trabalho sobre o tratamento biológico de biorresíduos da Comissão Europeia ^[73], as centrais de tratamento biológico devem estar localizadas em locais afastados de zonas residenciais, zonas protegidas e de linhas de água.

Tendo em conta os parâmetros que devem ser atendidos na seleção do local de instalação do centro de compostagem, optou-se por restringir as opções de localização a terrenos municipais, como as zonas de acolhimento empresarial.

No município foi criada a Cidade Empresarial de Paços de Ferreira, sob a administração da empresa municipal *PFR Invest*, que consiste num conjunto de espaços estruturados e direcionados para atividades económicas ^[87]. A sua criação teve como objetivo a implementação de uma rede empresarial e institucional de proximidade, através da utilização de infraestruturas comuns, favorecendo o aumento da competitividade das empresas instaladas.

A cidade empresarial de Paços de Ferreira engloba oito pólos industriais (Figura 43), distribuídos por 1,5 milhões de m² de área industrial, com diversas infraestruturas pré-

existentes, como o fornecimento de energia elétrica, gás e telecomunicações em banda larga, abastecimento de água e saneamento, serviços de receção, vigilância, limpeza, manutenção de zonas verdes e instalações.

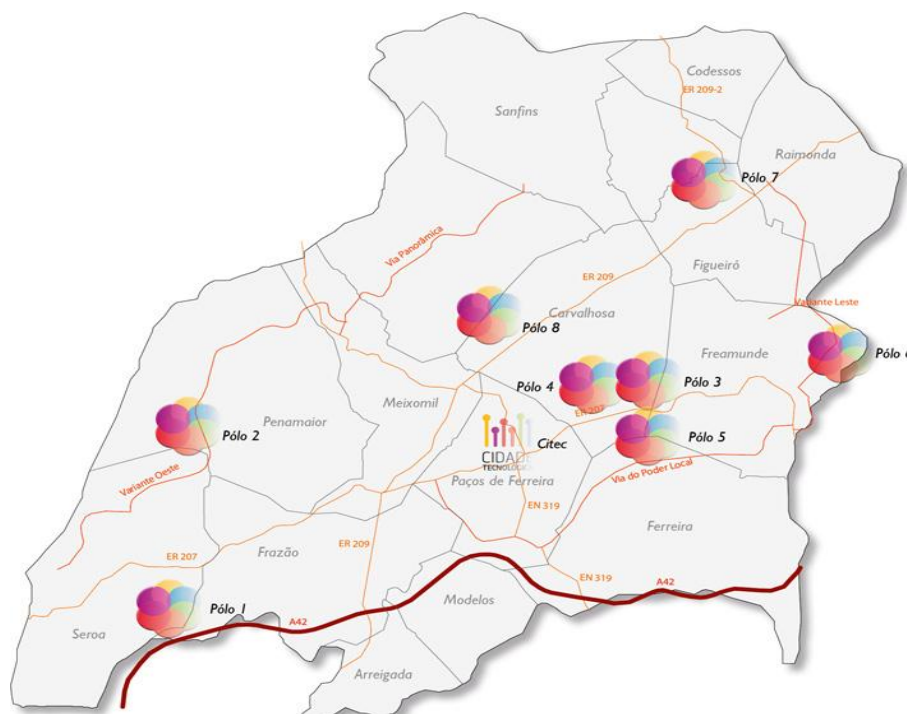


Figura 43 – Cidade Empresarial de Paços de Ferreira- localização dos polos industriais (Adaptado de PFR Invest^[87]).

Atualmente encontram-se em funcionamento ou em fase de arranque os pólos 1, 3, 5 e 6, optando-se por restringir este estudo a estes quatro locais. Na Tabela 28 é apresentada a localização e a área desses pólos industriais.

Tabela 28- Localização e Área disponível para construção de um centro de compostagem nos pólos industriais 1, 3, 5 e 6^[89].

Alternativa	Localização	Área (m ²)
Pólo 1	Frazão/Seroa-Paços de Ferreira	386 754
Pólo 3	Carvalhosa/Freamunde-Paços de Ferreira	157 077
Pólo 5	Carvalhosa/Ferreira/Freamunde-Paços de Ferreira	176 880
Pólo 6	Freamunde-Paços de Ferreira	200 555

- **Pólo 1: Frazão/Seroa – Paços de Ferreira**

O Pólo 1 da cidade empresarial de Paços de Ferreira localiza-se nas freguesias de Frazão e Seroa, entre as Autoestrada 42 e a Estrada Regional 207, ocupando uma área de 386 754 m². A Figura 44 ilustra a área de ocupação do pólo industrial e área disponível para implementação.



Figura 44- Pólo Industrial 1. Delimitação da área de ocupação. (Adaptado de PFR Invest^[87])

- **Pólo 3: Carvalhosa/Freamunde – Paços de Ferreira**

O Pólo industrial 3 foi construído na fronteira entre as freguesias de Freamunde e Carvalhosa, próximo à Estrada Regional 207 (Figura 43). Ocupa um total de 157077 m², distribuídos por vinte e nove lotes, sendo que, desses lotes, encontram-se atualmente nove ocupados e quatro reservados, tal como se pode observar na Figura 45.



Figura 45-- Pólo Industrial 3. Delimitação da área de ocupação. (Adaptado de PFR Invest^[87])

- **Pólo 5: Carvalhosa/Ferreira/Freamunde – Paços de Ferreira**

O Pólo 5 da cidade empresarial de Paços de Ferreira localiza-se nas freguesias de Carvalhosa, Ferreira e Freamunde, entre a Via do Poder Local e a Estrada Regional 207, ocupando uma área de 176 880 m². A Figura 46 ilustra a área de ocupação do pólo industrial e área disponível para implementação.



Figura 46- Pólo Industrial 5. Delimitação da área de ocupação. (Adaptado de PFR Invest^[87])

- **Pólo 6: Freamunde – Paços de Ferreira**

O Pólo industrial 6 está localizado na freguesia de Freamunde e possui uma área de 200 555 m² de terreno, distribuídos por doze lotes para implementação de indústrias, visíveis na Figura 47.

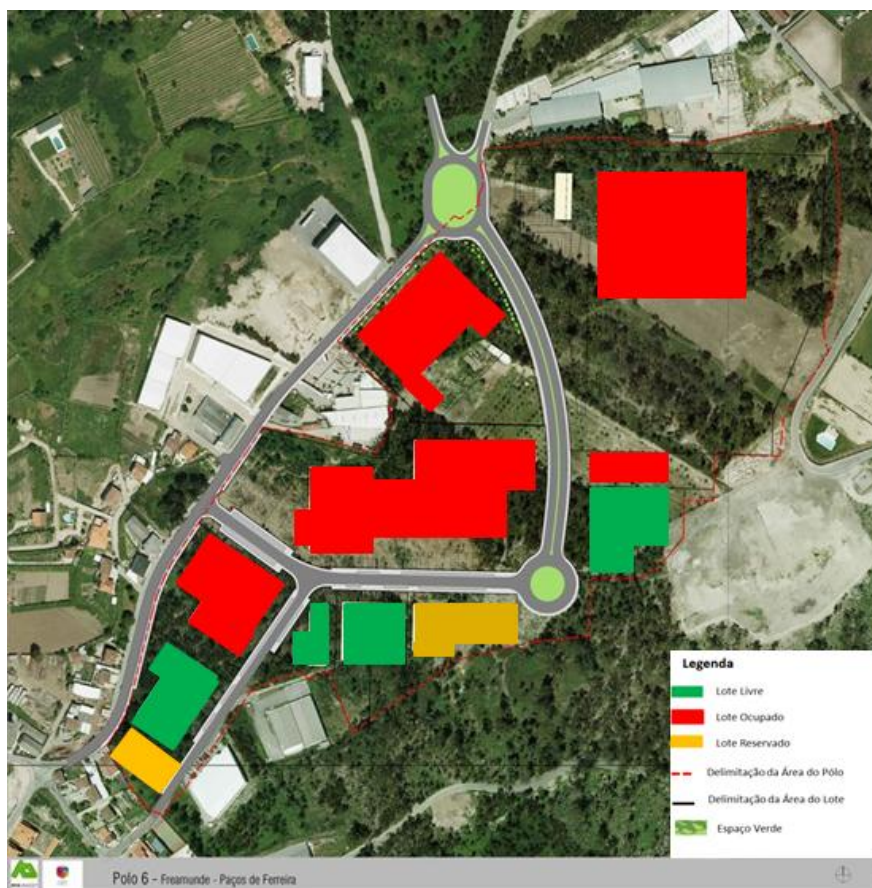


Figura 47 - Pólo Industrial 6. Delimitação da área de ocupação. (Adaptado de PFR Invest ^[87])

3.2.3 SELEÇÃO DO SISTEMA DE COMPOSTAGEM

O sistema de compostagem a adotar deverá estar de acordo com os objetivos pretendidos pela CMPF e deverá adapta-se à situação real e efetiva do município em termos de produção de resíduos, isto é, deverá ser capaz de fornecer um destino adequado aos resíduos verdes produzidos, impedindo ou diminuindo o fluxo destes destinado a aterro. A redução de custos, nomeadamente relacionada com a deposição em aterro dos resíduos, é o objetivo principal da implementação do CMC, desta forma a tecnologia adotada deverá apresentar um custo de implementação e funcionamento baixo, com um sistema simples em termos operacionais. A área disponível, a tipologia e a quantidade de resíduos que se pretendem tratar devem ser parâmetros igualmente atendidos na seleção do método a utilizar.

O CMC deverá ser capaz de processar resíduos verdes, cujas características físico-químicas permitem a obtenção de um composto de qualidade satisfatória sem

necessidade de uma tecnologia de tratamento muito avançada, estando a estes associados poucos riscos ambientais.

Assim, a tecnologia mais adequada para este CMC é a compostagem através de um sistema lento por pilhas revolvidas, isto é, um processo *windrow*. Tal como já referido, este sistema pressupõe o revolvimento periódico das pilhas de compostagem, o que requer a existência de equipamento adequado.

3.2.4 ÁREA ATIVA DE COMPOSTAGEM

No cálculo da área de compostagem tornou-se necessário estimar o volume correspondente à quantidade total de resíduos que poderão ser tratados no CMC e as dimensões de cada pilha de compostagem a construir.

3.2.4.1 Determinação do Volume de Resíduos a Processar

O cálculo do volume de resíduos verdes requer o conhecimento da massa volúmica média da mistura de resíduos verdes. Para tal torna-se necessário conhecer a composição física dos resíduos verdes.

No âmbito deste trabalho, devido à falta de espaço, de equipamento e de tempo não foi viável a caracterização dos resíduos verdes recolhidos no município de Paços de Ferreira, por isso no cálculo da área de compostagem foi necessário recorrer a valores existentes na literatura relativos à composição física dos resíduos verdes.

Segundo Haug ^[18] genericamente os resíduos verdes consistem em 70 % de Aparas de relva, 25 % de Folhas e 5 % de uma mistura de ramos e galhos de árvores e arbustos. Pela análise visual, verificou-se que a composição física dos resíduos verdes rececionados no ecocentro municipal era semelhante à adotada.

A mistura foi definida apenas utilizando resíduos de jardim, uma vez que representam a fração mais problemática na gestão das quantidades produzidas, no entanto não deve ser afastada a possibilidade de no CMC ser incorporada a serradura de madeira. Considerando a composição típica dos resíduos verdes e a massa volúmica das

diferentes frações que os compõem, obteve-se a massa volúmica média da mistura de resíduos verdes a serem tratados por compostagem. Estes valores são apresentados na Tabela 29.

Tabela 29- Composição física (%) e massa volúmica média (kg m^{-3}) dos resíduos verdes.

Resíduo verde	Composição física dos resíduos verdes (%)	Massa volúmica (kg m^{-3})	Massa volúmica média (kg m^{-3})
Aparas de relva	70	220	197
Folhas	25	70	
Ramos/Galhos (árvores e arbustos)	5	512	

A partir da massa volúmica média dos resíduos verdes e da quantidade anual que se pretende tratar no CMC foi possível estimar o volume de resíduos em diferentes escalas temporais.

Considerando o volume de resíduos produzidos semanalmente que serão tratados no CMC e a duração da fase ativa do processo de compostagem obtém-se o volume total de resíduos que poderão ser processados na área ativa de compostagem de uma só vez.

3.2.4.2 Determinação das Dimensões das Pilhas de Compostagem

As pilhas de compostagem foram dimensionadas tendo em conta o melhor desenvolvimento do processo, a quantidade de resíduos a processar e as dimensões dos equipamentos de revolvimento, para permitir a utilização de uma máquina revolvedora de composto.

3.2.4.3 Determinação da Área Ativa Total de Compostagem.

A área ativa de compostagem engloba a área requerida pelas pilhas de compostagem e o espaçamento necessário entre as pilhas para a sua construção, revolvimento e monitorização.

O espaçamento entre as pilhas de compostagem foi definido tendo em consideração uma estimativa do espaço requerido pelo equipamento de revolvimento e montagem das pilhas.

3.2.5 DETERMINAÇÃO DA ÁREA DE MATURAÇÃO, CRIVAGEM E ARMAZENAMENTO DO COMPOSTO

A área de maturação foi definida considerando a capacidade de processamento de resíduos do CMC e a consequente quantidade de composto produzida.

Numa tentativa de redução de espaço e visto que a compostagem de resíduos verdes em pátio aberto normalmente não necessita de um espaço de maturação específico, uma vez que o período de tempo efetivo de compostagem é normalmente suficiente para que ocorra estabilização do composto, não se considerou uma área específica para a maturação do composto ^[92]. O nível de maturação do composto deve ser monitorizado, devendo-se efetuar testes para verificar se o processo de compostagem está terminado, ou seja, após o último revolvimento da pilha de compostagem deve verificar-se se a temperatura interna não aumenta.

A afinação do composto é um processo importante e que garante diferentes características finais, dependendo do objetivo de utilização. Deste processo resultam rejeitados que devem ser novamente incorporados nas pilhas de compostagem. Neste processo deve ocorrer também a separação dos materiais estruturantes.

O correto armazenamento do composto requer a existência de um espaço devidamente abrigado, para prevenção de uma possível introdução de água devido à precipitação. Na zona de armazenamento o composto poderá ser disposto sem limitações em termos de dimensões das pilhas.

3.2.6 DETERMINAÇÃO DA ÁREA DE RECEÇÃO E PRÉ-PROCESSAMENTO DOS RESÍDUOS VERDES

A área de recepção dos resíduos deve estar posicionada na entrada do CMC e deve englobar a portaria. Nesta área devem ser pesados todos os resíduos rececionados, através de uma balança, e deve ser efetuada por um colaborador a sua inspeção visual. Posteriormente devem ser colocados numa área destinada a depósito dos resíduos, que deve ser dimensionada para recolher a quantidade semanal de resíduos verdes produzidos no município. Por fim, deve ser efetuada por um colaborador a triagem de resíduos (separação do material inconveniente como plásticos e vidros), procedendo simultaneamente à separação possível das diferentes tipologias de resíduos verdes, para facilitar a sua incorporação alternada nas pilhas de compostagem.

No espaço contíguo à zona destinada à deposição dos resíduos deverá estar a zona de trituração, que deve ser dimensionada tendo em conta o equipamento de trituração. Esta etapa é fundamental para o ótimo desenvolvimento do processo de compostagem, uma vez que permite a obtenção de uma granulometria adequada, isto é entre 25 e 75 mm ^[55], no caso de serem usados resíduos com granulometria grande. No entanto, no caso dos resíduos verdes normalmente a granulometria é adequada, com a exceção para os ramos de árvores, que também não devem ser triturados para poderem ser usados como estruturantes.

4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ENSAIO DE COMPOSTAGEM

No decorrer do ensaio de compostagem foram efetuadas determinações laboratoriais aos diferentes resíduos utilizados e a amostras das pilhas de compostagem. No âmbito deste projeto não foi possível efetuar, em tempo útil, uma avaliação da qualidade do composto final obtido, no entanto, a análise dos parâmetros de controlo do processo permite averiguar algumas características deste.

4.1.1 RESÍDUOS VERDES

Foram realizadas algumas determinações laboratoriais às matérias-primas utilizadas, por isso para cada matéria-prima são apresentados os valores típicos (literatura) e os valores reais dos diversos parâmetros que caracterizam o material.

A Tabela 30 apresenta os valores das medições de pH nas amostras dos vários resíduos verdes utilizados no ensaio.

Tabela 30 – Valores de pH medido em amostras dos resíduos verdes.

Resíduo	Amostra	T (°C)	pH ₁	pH ₂	pH ₃	pH _{médio}	pH _{médio}
Aparas de Relva	RC.1	18,7	6,18	6,12	6,07	6,12	6,06
	RC.2	18,7	6,02	6,00	5,98	6,06	
Aparas de Relva com Outros Resíduos de Jardim	RC+RJ.1	18,9	5,57	5,57	5,57	5,57	5,57
	RC+RJ.2	18,9	5,55	5,57	5,57	5,56	
Folhas	F.1	18,5	5,70	5,73	5,75	5,73	5,77
	F.2	18,7	5,78	5,82	5,83	5,81	
Serradura de Madeira	S.1	18,6	5,14	5,12	5,11	5,12	5,07
	S.2	18,5	5,02	5,02	5,02	5,02	

Tal como se pode observar na Tabela 30, os valores de pH dos diferentes resíduos são bastante próximos. Todos os resíduos apresentam um pH ligeiramente ácido, sendo

que as aparas de relva possuem o valor mais próximo da neutralidade (6,06). As aparas de relva com outros resíduos de jardim apresentam um valor de pH 5,57, muito próximo do valor das folhas, 5,77. O pH mais baixo foi registado na serradura de madeira (5,07).

Relativamente à humidade, foram analisadas duas amostras de cada resíduo e determinada a humidade média, em base húmida. Os resultados são apresentados na Tabela 31.

Tabela 31 – Valores de humidade dos diferentes resíduos utilizados.

Resíduo	Amostra	Humidade (% m/m, base húmida)	Humidade média (% m/m, base húmida)
Aparas de Relva	RC.1	79,12	79,13
	RC.2	79,13	
Relva Cortada com Outros Resíduos de Jardim	RC+RJ.1	74,73	74,38
	RC+RJ.2	74,04	
Folhas	F.1	58,33	58,43
	F.2	58,54	
Serradura de Madeira	S.1	10,58	10,19
	S.2	9,80	

Tal como esperado, as aparas de relva utilizadas apresentam um teor de humidade muito elevado, de cerca de 79 % m/m. Em oposição, o material mais seco é a serradura de madeira com uma humidade de cerca de 10 % m/m. As folhas apresentam uma humidade de aproximadamente 58 % m/m.

Comparando com valores típicos de humidade (Tabela 15), é possível observar que as aparas de relva apresentam um valor muito próximo do valor adotado da bibliografia.

As aparas de relva com outros resíduos de jardim apresentam, tal como esperado, um valor de humidade próximo do apresentado pelas aparas de relva, embora um pouco mais baixo devido à mistura de resíduos mais secos, como folhas e ramos de árvores. Atendendo à Tabela 16, verifica-se que o valor de humidade utilizado na estimativa da quantidade de material a incorporar nas pilhas, isto é 15 % m/m, é muito inferior ao valor obtido nas determinações efetuadas, cerca de 74 % m/m. É de salientar que a amostra utilizada nas determinações laboratoriais se encontrava molhada, uma vez

que a amostragem foi realizada com chuva e não estava bem homogeneizada, isto é, não representava rigorosamente o material utilizado na construção das pilhas, o que poderá explicar a enorme discrepância entre o valor típico e o valor real.

O teor de humidade das folhas foi de cerca de 58 %, ou seja cerca de 20 % mais elevado que o valor típico (Tabela 17), o que, em parte, pode ser explicado pelo facto de amostra analisada também ter sido colhida com chuva, encontrando-se por isso molhada.

O valor típico adotado de humidade da serradura de madeira, 19 – 65 % (Tabela 18) é relativamente mais elevado do que o determinado experimentalmente, cerca de 10 %. A serradura de madeira pode resultar de diferentes processos de transformação da madeira e pode ter também diferentes origens (diferentes tipos de madeira), o que influencia as suas características e torna mais difícil estabelecer uma gama de valores dos parâmetros que a caracterizam, como a humidade, que represente todas as tipologias de materiais. Este facto pode explicar em certa medida a diferença entre o valor típico e o valor real.

Com os valores de humidade dos resíduos usados no processo de compostagem e com as percentagens de cada resíduo em cada pilha, expostas na Tabela 20, é possível calcular o teor de humidade real da mistura inicial (Tabela 32).

Tabela 32 – Valores reais do teor de humidade inicial das diferentes pilhas.

Pilha	Humidade (% m/m, base húmida)
A	77,75
B	68,50
C	63,70

Foram também efetuadas determinações da granulometria dos resíduos. Na Tabela 33 encontram-se os valores de massa de resíduo retido em cada peneiro.

Tabela 33 – Massa total de amostra analisada e as quantidades retidas em cada peneiro.

Amostra	Massa (g)	Abertura da malha (mm)						Massa Total (g)	Perdas (%)
		31,5	25	14	5	2	< 2		
RC.1	107,4	0,0	0,3	2,0	72,0	7,7	25,3	107,3	0,1
RC.2	117,5	0,1	2,7	0,4	94,4	4,3	15,5	117,4	0,1
RC+RJ.1	115,6	1,5	10,2	16,0	59,6	10,7	17,5	115,5	0,1
RC+RJ.2	113,9	1,6	2,9	12,6	79,1	7,3	10,3	113,8	0,1
F.1	112,2	107,8	2,2	0,9	0,0	0,2	1,0	112,1	0,1
F.2	105,8	95,1	8,9	0,2	0,1	0,3	1,1	105,7	0,1
S.1	100	0,0	0,0	0,2	0,7	1,7	97,3	99,9	0,1
S.2	100	0,0	0,0	0,1	0,7	2,4	96,7	99,9	0,1

A análise da Tabela 33 revela que o material que apresenta maiores dimensões são as folhas e o material com partículas mais pequenas a serradura de madeira, tal como esperado.

Na Tabela 34 é apresentada a percentagem média de amostra de cada resíduo retida em cada peneiro.

Tabela 34 – Percentagem média de amostra retida em cada peneiro.

Resíduo	Abertura da malha (mm)					
	Média da massa retida (% m/m)					
	31,5	25	14	5	2	< 2
Aparas de Relva	0,0	1,3	1,1	73,7	5,4	18,4
Relva Cortada com Outros Resíduos de Jardim	1,4	5,7	12,5	60,5	7,8	12,1
Folhas	93,0	5,2	0,5	0,0	0,2	1,0
Serradura de Madeira	0,0	0,0	0,2	0,7	2,1	97,0

Pela análise da Tabela 34 verifica-se que cerca de 93 % das folhas analisadas apresentam dimensões superiores a 31,5 mm. Relativamente à serradura de madeira, 97 % da amostra apresentou dimensão inferior a 2 mm.

As amostras de aparas de relva apresentam maioritariamente dimensão compreendida entre 2 e 5 mm e as aparas de relva com outros resíduos de jardim entre 2 e 14 mm.

Comparando com o tamanho aconselhado para processos de compostagem, apresentado na Tabela 6, todos os resíduos apresentam uma dimensão aconselhada, no entanto a trituração das folhas permitiria a uniformização do tamanho das partículas das pilhas, o que poderia resultar em melhores condições de desenvolvimento do processo.

4.1.2 CONTROLO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

O processo de compostagem dos resíduos referidos no subcapítulo anterior teve início a 23 de outubro de 2012 e foi finalizado a 29 de Janeiro de 2013. Ao longo do processo foi realizada a monitorização diária da temperatura e foi realizado um conjunto de determinações laboratoriais dos parâmetros de controlo de um processo de compostagem, referidas no *Subcapítulo 3.1* a partir de uma amostragem efetuada sensivelmente um mês após o arranque do processo.

Um aspeto importante para averiguar o desenvolvimento de um processo de compostagem é também a inspeção visual das pilhas de compostagem. Ao longo do processo o material sofre várias alterações físicas, como alterações na cor, no volume, no tamanho, entre outros. Em seguida são apresentados os resultados obtidos para os diferentes parâmetros.

4.1.2.1 Temperatura

A evolução da temperatura registada durante o processo de compostagem das três pilhas assim como a variações da temperatura ambiente, obtida através de um sensor de temperatura presente no ecocentro, são apresentadas na Figura 48.

O dia do início da monitorização da temperatura correspondeu ao dia do primeiro revolvimento das pilhas.

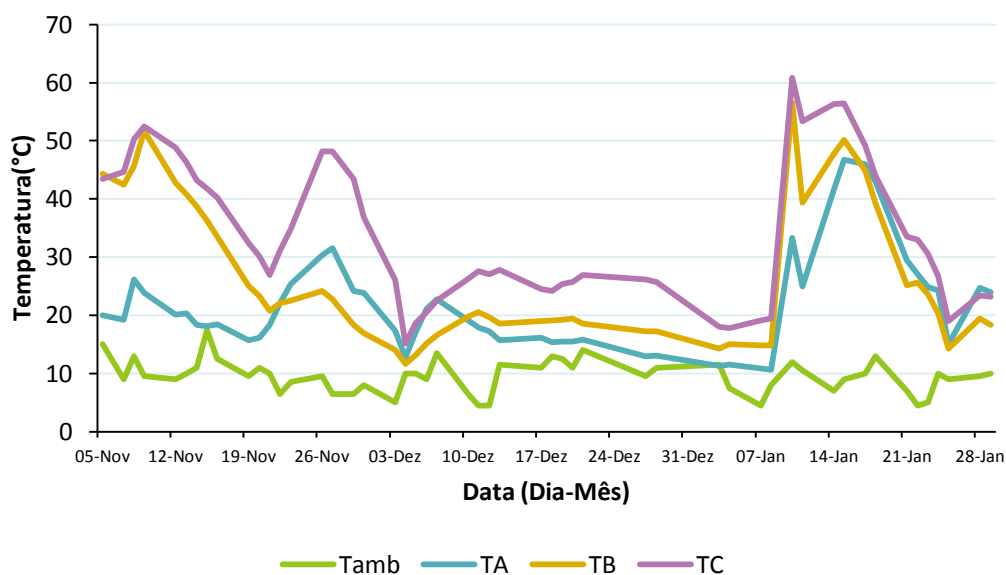


Figura 48 – Evolução da temperatura no centro das pilhas de compostagem entre o 13º dia de compostagem e o final.

Na Figura 48 são também perceptíveis os picos de temperatura provocados pelos revolvimentos do material efetuados nos dias 5 e 20 de novembro, 4 de dezembro, 3, 10 e 24 de janeiro.

Por forma a analisar melhor a evolução da temperatura são apresentados os gráficos correspondentes aos períodos entre revolvimentos.

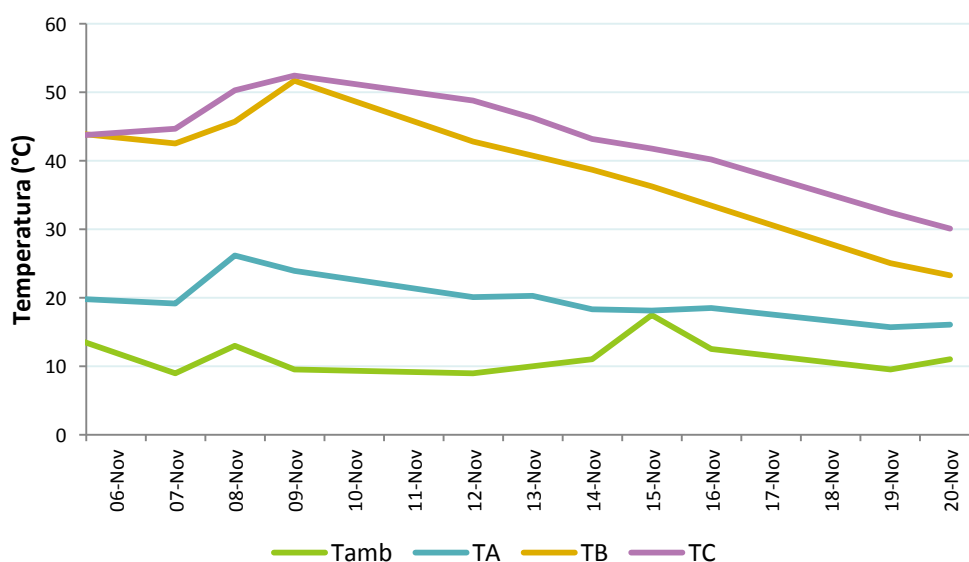


Figura 49 – Evolução da temperatura ambiente e temperaturas do centro da pilha desde o início da monitorização da temperatura e primeiro revolvimento (5 de novembro) até ao segundo revolvimento (20 de novembro).

É visível na Figura 49 que nas pilhas B e C, no dia em que foi medida a temperatura pela primeira vez (13º dia de processo), se registam temperaturas superiores a 40 °C, encontrando-se por isso o processo na fase termofílica.

No 2º dia após o revolvimento todas as pilhas registam um aumento da temperatura. Na pilha A observa-se que a temperatura aumenta até um máximo de 26,2 °C em apenas um dia, o que se supõem pouco para o correto desenvolvimento do processo, o que já indica a lentidão do processo de compostagem numa mistura com pouca quantidade de resíduos ricos em carbono. De salientar que o objetivo da construção da pilha A foi estudar o comportamento dos resíduos verdes recebidos em maior quantidade no ecocentro, numa perspetiva de avaliar a sua utilização por si só em pilhas de compostagem. Após atingir o pico de temperatura, observa-se uma diminuição gradual até aos 16 °C.

Nas pilhas B e C, a temperatura apresenta um comportamento semelhante. Após o revolvimento a temperatura aumenta até valores superiores a 50 °C, iniciando-se de seguida uma diminuição gradual dos valores. A pilha B atinge o seu pico a 52°C, 3 dias após o revolvimento, começando depois a diminuir gradualmente até uma temperatura de 25°C, mantendo-se acima a 40 °C durante 8 dias. Relativamente à pilha C, é atingida uma temperatura máxima de 52,5 °C, começando de seguida a diminuir até 32,4 °C, sendo que as temperaturas superiores a 40°C são mantidas durante 11 dias.

A partir da análise da evolução da temperatura entre o 1º e o 2º revolvimento é possível constatar que as pilhas com mistura de aparas de relva com folhas (pilha B) e com folhas e serradura (pilha C) apresentam um desenvolvimento adequado, sendo atingidas temperaturas elevadas, embora durante pouco tempo, ao contrário do que sucede com mistura de aparas de relva com outros resíduos de jardim.

A Figura 50 ilustra a evolução da temperatura do centro das pilhas de compostagem, entre o segundo e o terceiro revolvimento.

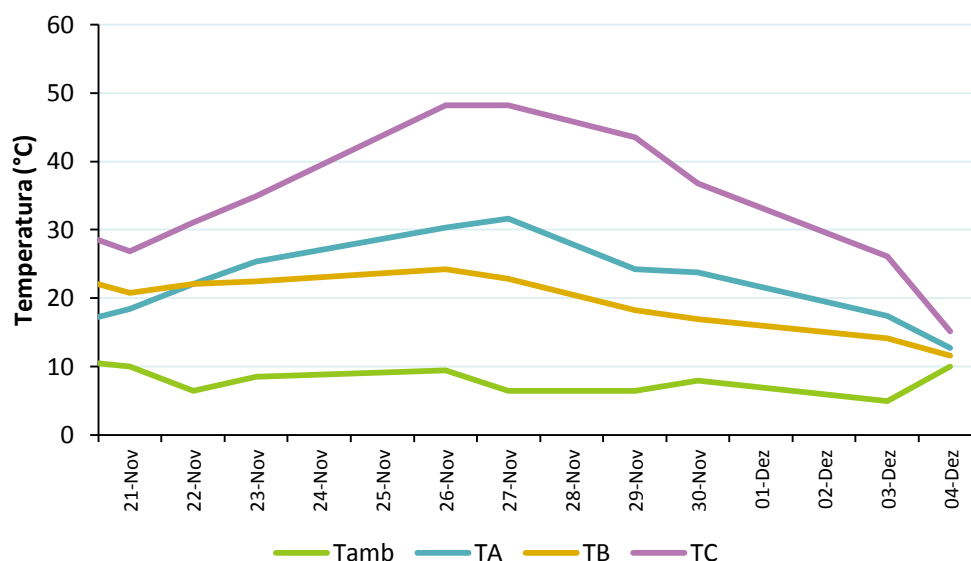


Figura 50 - Evolução da temperatura ambiente e temperaturas do centro da pilha desde o segundo revolvimento (21 de novembro) até ao terceiro revolvimento (4 de dezembro).

Depois do 2º revolvimento, a 21 de novembro, a temperatura volta a aumentar em todas as pilhas. No entanto, na pilha B o aumento é praticamente nulo, mantendo-se a temperatura mais ou menos constante e próxima dos 20 °C, o que revela uma diminuição da taxa de degradação da matéria orgânica.

A pilha A sofre também um aumento da temperatura, sendo atingida a temperatura mais elevada desde o início da monitorização da temperatura. Este facto revela que o material poderia anteriormente estar demasiado compactado não permitindo uma adequada oxigenação, o que é fundamentado pela observação das imagens da pilha no dia do revolvimento de 20 de novembro.



Figura 51 – Pilha A no dia 20 de novembro, após revolvimento.

Na pilha C regista-se o aumento até perto dos 50 °C, em cerca de 5 dias. Em seguida observa-se uma ligeira estagnação durante 1 dia, voltando novamente a decrescer gradualmente até aos 15 °C. De salientar que a temperatura máxima atingida entre o 2º e o 3º revolvimento é inferior à alcançada entre o 1º e o 2º.

Na Figura 52 é apresentada a evolução da temperatura do centro das pilhas de compostagem, entre o terceiro e o quarto revolvimento.

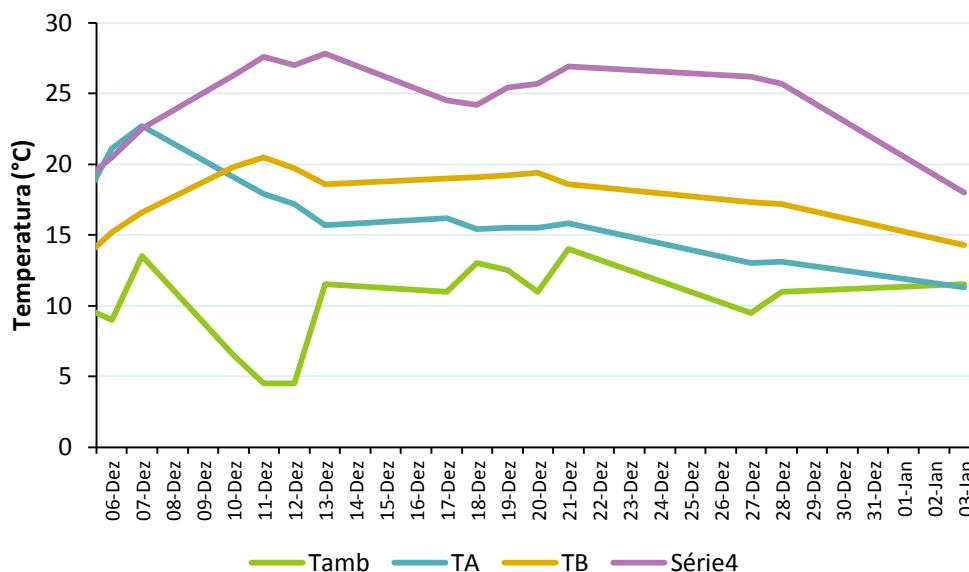


Figura 52 - Evolução da temperatura ambiente e temperaturas do centro da pilha após o terceiro revolvimento (6 de dezembro) até ao quarto revolvimento (3 de janeiro).

Após o 3º revolvimento, as temperaturas apresentadas em todas as pilhas começaram a subir imediatamente. A temperatura da pilha A subiu ligeiramente (cerca de 2 °C) voltando a diminuir a partir desse momento até atingir a temperatura ambiente no dia 3 de janeiro. Já na pilha B a temperatura aumenta até a um máximo de 21 °C, no dia 11 de dezembro, observando-se em seguida uma diminuição gradual até aos 17 °C, no dia 3 de janeiro.

A diminuição das temperaturas das pilhas A e B até valores coincidentes com a temperatura ambiente revela que a atividade microbiana estabilizou, o que poderia indicar o final do processo de compostagem ativa. No entanto, a análise de parâmetros de caracterização física do composto, como a aparência, a cor e o cheiro revelou que a matéria orgânica ainda não tinha sido completamente decomposta, por isso houve a

necessidade de adicionar uma nova quantidade de resíduos às pilhas com o objetivo de reativar os microrganismos.

Para não influenciar as condições iniciais do ensaio, foi adicionada a mesma mistura de materiais a todas as pilhas e foi colocada uma cobertura nas pilhas, numa tentativa de diminuir o efeito da temperatura ambiente. Na Figura 53 é representada a evolução da temperatura entre o quarto revolvimento e o final do processo, sendo ilustrada a adição da mistura 2 às pilhas de compostagem no dia 8 de janeiro. Dois dias após a adição da mistura 2, no dia 10 de janeiro foi realizado um revolvimento para homogeneizar os materiais.



Figura 53 - Evolução da temperatura ambiente e temperaturas do centro da pilha após o quarto revolvimento (5 de janeiro) até final do processo (29 de janeiro).

Depois do quarto revolvimento a temperatura nas 3 pilhas encontra-se estabilizada. A pilha A apresenta desde o quarto revolvimento (5 de janeiro) a temperatura estabilizada próxima dos 10 °C, verificando-se um aumento até aos 33 °C (dia 10 de janeiro) após a adição da mistura 2. Com o revolvimento efetuado no dia 10 de janeiro, para misturar os novos materiais com os já em compostagem, verifica-se que a temperatura diminui ligeiramente até aos 25 °C voltando novamente a aumentar até a uma temperatura máxima de 47 °C, no dia 15 de janeiro. No dia 25 de janeiro foi realizado o último revolvimento, provocando aumento ligeiro da temperatura até aos 25 °C, mantendo-se assim até ao final da monitorização.

Relativamente à pilha B, observou-se um aumento acentuado da temperatura após a adição da mistura 2, atingindo os 57 °C no dia 10 de janeiro. O revolvimento de dia 10 provocou uma ligeira diminuição, voltando a aumentar a partir do dia 11 de janeiro até atingir os 50 °C, 3 dias depois, voltando novamente a decrescer até aos 20 °C. Após o último revolvimento a temperatura estabilizou perto dos 18 °C.

Na pilha C foram novamente atingidas as temperaturas mais altas. Com a adição da mistura 2, foi atingida no dia 10 de janeiro a temperatura de 61 °C. O revolvimento do mesmo dia levou a uma ligeira diminuição até aos 55 °C, seguida de um novo aumento até aos 57 °C no dia 15 de janeiro. A partir desta data a temperatura diminuiu gradualmente até 27 °C, registados antes do último revolvimento. O último revolvimento provocou um ligeiro aumento da temperatura até aos 19 °C, temperatura registada no final da monitorização.

Não foi possível verificar a evolução da temperatura a partir de dia 29 de janeiro, no então prevê-se a sua estabilização em valores abaixo dos 20 °C, demonstrando que o processo de degradação da matéria orgânica estaria perto do fim ou mesmo completo, nas três pilhas. Para término do processo de compostagem seria necessário ainda um período de maturação do composto que neste ensaio não foi concluído.

Através da análise da Figura 53 é possível verificar que após cada revolvimento as três misturas demoraram cerca de 3 a 4 dias a atingir a temperatura máxima no seu centro.

O principal problema encontrado foi o não aquecimento das pilhas de compostagem até temperaturas adequadas à correta higienização do composto, durante um período de tempo suficiente. Na pilha A não foram atingidas temperaturas superiores a 50 °C, sendo que a temperatura mais elevada foi 46,8 °C, mantendo-se acima de 40 °C durante 4 dias (entre 14 e 18 de janeiro). Relativamente à pilha B, atingiram-se temperaturas superiores a 50°C em 3 vezes ao longo do processo, com duração de 1 dia nas 3 vezes, sendo que a temperatura mais elevada foi de 56,5 (dia 10 janeiro). Na pilha C atingiram-se temperaturas superiores a 55 °C durante um período máximo de 5 dias (entre 10 e 15 de janeiro). A temperatura mais elevada foi de 60,8 °C no dia 10 de janeiro.

Em todas as pilhas, as temperaturas mais elevadas sentiram-se após a adição da mistura 2.

Segundo Anexo III do documento das Especificações Técnicas sobre qualidade e Utilizações do Composto ^[54], para a correta higienização do composto, recomenda-se num sistemas de pilhas revolvida, que os resíduos sejam submetidos a temperaturas superiores a 55°C, durante no mínimo quatro semanas, o que não se verificou com nenhuma das pilhas estudadas. No entanto a que apresentou valores mais altos foi sempre a pilha C, o que demonstra que a incorporação de serradura de madeira é vantajosa num processo de compostagem de resíduos verdes, prevendo-se que em processos com pilhas de dimensões superiores, em que não se verifique uma excessiva perda de calor, da sua incorporação resultariam bons resultados.

4.1.2.2 Humidade

A determinação da humidade foi realizada apenas uma vez durante o processo de compostagem, no dia 27 de novembro de 2012, ou seja cerca de um mês após o início do processo. Na formulação das misturas foi estimada a humidade desejada para iniciar o processo, com base nos valores de humidade típicos dos resíduos utilizados. No entanto, para possibilitar uma comparação mais fiável dos teores de humidade inicial e após um mês, de cada pilha de compostagem, foi estimada no *Subcapítulo 4.1.1* a humidade inicial tendo em conta a composição da pilha e a humidade de cada um dos resíduos determinada nas análises laboratoriais.

Tabela 35 – Teor de humidade das pilhas de compostagem.

Pilha	Amostra	Humidade inicial (% m/m, base húmida)	Humidade (% m/m, base húmida)	Humidade média (% m/m, base húmida)
A	A1.1	77,75	84,51	82,73
	A1.2		80,95	
B	B1.1	68,50	64,05	62,19
	B1.2		60,33	
C	C1.1	63,7	79,49	75,63
	C1.2		71,78	

Analisando a Tabela 35, é possível verificar que um mês após o início do processo o teor de humidade nas pilhas A e C é bastante elevado. Observam-se algumas diferenças entre a humidade inicial das pilhas e a humidade média do material em compostagem proveniente das mesmas pilhas, que podem ser explicadas pelo facto de a primeira resultar de uma estimativa tendo em conta a composição da pilha e o teor de humidade dos resíduos.

A elevada precipitação que ocorreu durante a semana em que foi realizada a amostragem do material das pilhas de compostagem poderá também explicar o elevado teor em humidade das pilhas A e C.

De acordo com as Especificações Técnicas nas três classes de qualidade de composto, a humidade deve ser inferior a 40 %, o que não se verifica em nenhuma das amostras das 3 pilhas.

4.1.2.3 Granulometria

Na Tabela 36 encontram-se os resultados relativamente à granulometria do material das pilhas de compostagem.

Tabela 36 – Massa total de amostra analisada e as quantidades retidas em cada peneiro.

Amostra	Massa (g)	Abertura da malha (mm)						Massa Total (g)	Perdas (%)
		31,5	25	14	5	2	< 2		
A1.1	100,9	37,5	31,1	22,5	8,5	1	0,2	100,8	0,1
A1.2	99,9	11,8	33,9	43	9,7	1,3	0,1	99,8	0,1
B1.1	113,4	44,9	2,1	8,8	49	6	2,5	113,3	0,1
B1.2	107,5	50,1	9,2	22,1	22,9	1,9	1,2	107,4	0,1
C1.1	104,9	35,2	2,6	9,6	38,1	18,4	0,9	104,8	0,1
C1.2	104,4	25,2	3,5	7,9	43,9	21,2	2,6	104,3	0,1

A análise da Tabela 36 revela que a granulometria do material não é perfeitamente homogénea. Ou seja, as duas amostras recolhidas de cada pilha apresentam valores distintos de granulometria.

Na Tabela 37 é apresentada a percentagem média de amostra de cada resíduo retida em cada peneiro.

Tabela 37 – Percentagem média de amostra retida em cada peneiro.

Pilha	Abertura da malha (mm)					
	Média da massa retida (% m/m)					
	31,5	25	14	5	2	< 2
A	24,5	32,4	32,7	9,1	1,1	0,1
B	43,1	5,2	14,2	32,3	3,5	1,7
C	28,8	2,9	8,4	39,2	18,9	1,7

A análise da permite verificar que o material não apresenta uma granulometria homogénea, sendo que nas amostras da pilha A e B a maior parte do material apresentou granulometria superior a 14 mm.

Na pilha A a granulometria superior a 14 mm tem maior expressão, uma vez que cerca de 89,6 % do material se distribui pelos peneiros entre 14 mm e 31,5 mm. Relativamente à pilha B, apenas uma pequena parte da amostra (5,2 %) apresenta granulometria inferior a 5 mm. O material da pilha C apresenta maioritariamente granulometria entre 2 e 5 mm.

A grande granulometria apresentada no material das 3 pilhas pode resultar do facto de o material analisado se encontrar muito molhado e compactado, o que tornou difícil esta determinação. Comparando com os valores das três classes de qualidade incluídas nas Especificações Técnicas, é possível concluir que o composto não cumpre os limites relativos à granulometria, uma vez que em todas as pilhas a percentagem de material superior a 25 mm é maior do que 1 %.

4.1.2.4 pH

Os valores de pH medido em amostras provenientes das pilhas de compostagem encontram-se na Tabela 38.

Tabela 38 - Valores de pH medido em amostras das pilhas de compostagem.

Pilha	Amostra	T (°C)	pH ₁	pH ₂	pH ₃	pH _{médio}	pH _{médio}
A	A1.1	19,9	7,84	7,86	7,86	7,85	7,89
	A1.2	20,0	7,92	7,94	7,93	7,93	
B	B1.1	19,3	7,26	7,25	7,32	7,28	7,23
	B1.2	18,8	7,17	7,18	7,18	7,18	
C	C1.1	19,2	7,38	7,43	7,25	7,35	7,32
	C1.2	18,9	7,29	7,39	7,19	7,29	

Como se pode observar na Tabela 38 as medições do valor de pH nas várias amostras não apresentaram diferenças significativas, encontrando-se perto da neutralidade. A pilha B possui um pH mais baixo, com 7,23, enquanto a pilha A apresenta o pH mais elevado, com 7,89, o que já seria de esperar tendo em conta a composição da sua mistura. O pH registado na pilha C foi de 7,32.

Todas as pilhas de compostagem apresentam valores dentro dos limites estabelecidos pelas Especificações Técnicas, isto é entre 5,5 e 8,5.

Em suma, analisando os parâmetros de controlo do processo é possível verificar que as amostras de composto recolhidas sensivelmente 1 mês após o início do processo não cumprem os limites estabelecidos nas Especificações Técnicas sobre a qualidade do composto, com exceção para os valores de pH que cumprem os limites em todas as pilhas de compostagem.

4.2 DIMENSIONAMENTO DE CENTRO DE COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS VERDES

4.2.1 CAPACIDADE DE PROCESSAMENTO DE RESÍDUOS

Pretende-se que o CMC tenha capacidade para tratamento de uma quantidade de resíduos verdes superior à produção atual, por isso optou-se por dimensionar o CMC para uma capacidade de tratamento de 4 000 t/ano, que corresponde a

aproximadamente o dobro da produção em 2011 e que permitirá a incorporação de outros resíduos nas pilhas de compostagem, como serradura de madeira ou até resíduos alimentares, numa fase posterior.

4.2.2 LOCALIZAÇÃO DO CENTRO DE COMPOSTAGEM

Tendo em conta a localização e a área disponível para construção, a alternativa que se mostra mais favorável é o Pólo industrial 5. Este pólo encontra-se numa fase inicial de construção o que facilita a implementação do centro Municipal de Compostagem, CMC, permitindo uma melhor adequação do espaço existente a este projeto.

O pólo industrial 5 foi projetado para se localizar nas freguesias de Carvalhosa, Ferreira e Freamunde, entre a Via do Poder Local e a Estrada Regional 207, como é visível na Figura 43, e insere-se numa zona suburbana com diversas áreas comerciais e industriais, entre as quais o centro comercial *Ferrara Plaza* e o centro comercial de móveis *Domóvel* ^[90]. Uma das principais vantagens da construção do centro de compostagem neste pólo industrial está relacionada com a sua proximidade ao Ecocentro de Paços de Ferreira, o que facilitaria a deslocação dos resíduos destinados à compostagem.

A construção do centro de compostagem no pólo industrial 5 tem várias vantagens, tais como a grande proximidade ao ecocentro municipal, disponibilidade de terreno adequado, fácil acesso e boa localização em termos de proximidade a todos os locais do município, uma vez que se encontra relativamente perto do centro.

4.2.3 SISTEMA DE COMPOSTAGEM SELECIONADO

Considerando a tecnologia de compostagem selecionada para o CMC, isto é, compostagem por pilhas revolvidas em parque aberto, e a tipologia de resíduos em causa foi elaborado um esquema geral do funcionamento do processo, ilustrado na Figura 54.

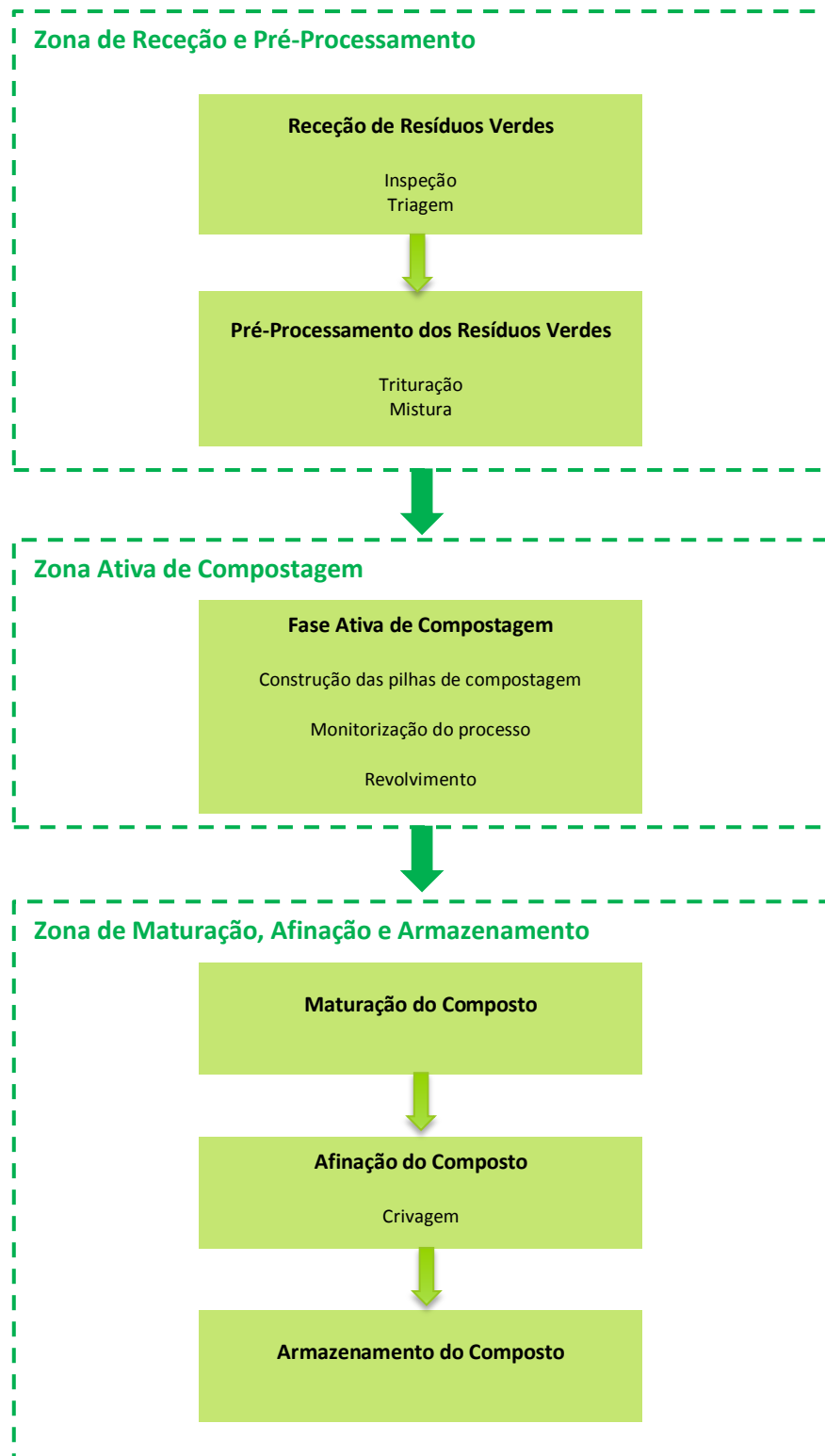


Figura 54- Esquema geral de funcionamento do CMC.

O processo de compostagem engloba seis fases, Receção dos Resíduos Verdes, Pré-Processamento, Fase Ativa de Compostagem, Maturação, Afinação e Armazenamento, distribuídas no terreno por três zonas distintas, isto é, Zona de Receção e Pré-

processamento de resíduos, Zona Ativa de Compostagem e Zona de maturação, Afinação e Armazenamento.

4.2.4 ÁREA ATIVA DE COMPOSTAGEM

4.2.4.1 Volume de Resíduos a Processar

Os valores resultantes do cálculo do volume de resíduos correspondente à capacidade total de processamento do CMC encontram-se na Tabela 39.

Tabela 39- Quantidade (t) e volume (m³) de resíduos verdes passíveis de serem processados no CMC, por período de tempo.

	Quantidade (t)	Volume (m ³)
Anual	4 000,00	20 295,79
Semanal	76,71	389,23

A uma quantidade de 4 000 t de resíduos produzidos por ano corresponde um volume de 20 295,79 m³ por ano.

Tal como se pode observar na Tabela 40, considerando o volume de resíduos produzidos semanalmente e a duração da fase ativa do processo, isto é 8 semanas^[92], obteve-se o volume total de resíduos que serão processados na área ativa de compostagem.

Tabela 40 – Volume total de resíduos processados durante o tempo de compostagem.

Volume semanal (m ³ /semana)	Período de compostagem (semanas)	Volume total (m ³)
389,23	8	3 113,87

Assim, o CMC terá capacidade de processar cerca de 3 113,87 m³ de resíduos verdes.

4.2.4.2 Dimensões das Pilhas de Compostagem

As dimensões estimadas das pilhas de compostagem a construir no CMC encontram-se na Tabela 41.

Tabela 41 - Características das pilhas de compostagem do CMC.

Área da secção trapezoidal (m ²)	Comprimento da pilha (m)	Volume da pilha (m ³)
6	60	360

Optou-se pela formação de pilhas trapezoidais com 2 m de altura e 4 m de largura, ou seja, com uma área de secção trapezoidal de 6 m² (base maior de 4 m e base menor de 2 m), que respeitam as dimensões da maioria dos equipamentos de revolvimento adequados ao tratamento de uma quantidade de resíduos desta grandeza ^[46].

O comprimento da pilha de compostagem foi determinado considerando o volume semanal de resíduos verdes produzidos, uma vez que se pretende que a totalidade dos resíduos semanalmente produzidos seja incorporada nas pilhas de uma só vez. Assim, optou-se pela formação de pilhas com 60 m de comprimento, o que resulta num volume 360 m³ por pilha de compostagem.

Para que a totalidade dos resíduos anualmente produzidos seja processada no CMC é necessário construir nove pilhas de compostagem, distribuídas em conjuntos de três, resultando em três conjuntos de três pilhas, o que permitirá o processamento simultâneo de 3 240 m³ de resíduos.

Sabendo que a produção estimada de resíduos por semana é de 389,23 m³, deverá ser construída semanalmente uma pilha de compostagem.

4.2.4.3 Área Ativa Total de Compostagem

O revolvimento das pilhas de compostagem, essencial ao desenvolvimento do processo, requer a necessidade de espaço para manobragem do equipamento de revolvimento. Desta forma, considerou-se um espaço entre pilhas do mesmo conjunto de 1,5 metros e um espaço entre conjuntos de pilhas de 6 metros. Foi também considerado um espaço em redor das extremidades das pilhas de 6 metros de cada lado, na horizontal e 3 metros de cada lado na vertical. As especificações de espaçamento considerados e o valor final da área de compostagem do CMC estimada são apresentados na Tabela 42.

Tabela 42- Dimensões da área ativa de compostagem do CMC.

Dimensão da área ativa total de compostagem	
Número de pilhas	9 (3 conjuntos de 3 pilhas)
Espaço total entre pilhas (m)	21
Largura total do espaço de ocupação das pilhas (m)	36
Espaço entre as extremidades da área de compostagem e as pilhas-horizantal (m)	12 (6 de cada lado)
Largura total da área de compostagem (m)	69
Comprimento das pilhas de compostagem (m)	60
Espaço entre as extremidades da área de compostagem e as pilhas - vertical (m)	6
Comprimento total da área de compostagem (m)	66
Área total ativa de compostagem (m ²)	4 554

A área total de compostagem estimada para o CMC com capacidade de processamento de 4 000 toneladas de resíduos verdes por ano foi de 4 554 m².

4.2.5 ÁREA DE RECEÇÃO E PRÉ-PROCESSAMENTO DOS RESÍDUOS VERDES

O volume de resíduos verdes correspondente à quantidade semanalmente produzida no município é de 389,23 m³, apresentado na Tabela 40, logo dimensionou-se uma área de deposição de resíduos de 200 m² e uma área de deposição de rejeitados do processo de triagem de 50 m².

O pré-processamento dos resíduos, mais concretamente a trituração, requer uma área específica essencialmente devido ao espaço necessário de manobra do equipamento de trituração e do equipamento de transporte de resíduos. Tomando como exemplo a central de tratamento de resíduos verdes da ALGAR, dimensionada para capacidade de tratamento superior, entende-se que uma área de 100 m² é adequada para o CMC ^[35]. Assim, a área de receção e pré-processamento de resíduos deverá ter 350 m².

4.2.6 ÁREA DE MATURAÇÃO E CRIVAGEM E ARMAZENAMENTO DO COMPOSTO

Tal como as restantes áreas do CMC, o dimensionamento da zona de maturação, crivagem e armazenamento depende do equipamento utilizado, do volume de resíduos processados e consequentemente do volume de composto produzido.

Não se dimensionou uma área específica de maturação, uma vez que se prevê que a maturação possa ocorrer em pilhas de compostagem na própria área ativa de compostagem ou no espaço relativo à área de crivagem.

Desta forma, optou-se por dimensionar uma área de armazenamento idêntica à área de receção de resíduos, isto é, com 200 m². Pelas mesmas razões, área de crivagem deverá ser idêntica à área de trituração, ou seja, 100 m².

A área total destinada à zona de maturação e crivagem e ao armazenamento do composto deverá ter 300 m².

4.2.7 EQUIPAMENTO E INFRAESTRUTURAS DE APOIO

Para o correto funcionamento do centro de compostagem e mais concretamente para o desenvolvimento do processo são necessários equipamentos de apoio. A quantidade e a tipologia dos equipamentos necessários estão relacionadas com a tecnologia de compostagem adotada e com a tipologia de resíduos. Os equipamentos essenciais para o funcionamento do CMC e as respetivas funções são descritos na Tabela 43.

Tabela 43- Funções dos equipamentos essenciais ao funcionamento no CMC ^{[92] [93]}.

Equipamento	Funções	
Báscula	Pesagem dos resíduos rececionados	
Triturador móvel de resíduos verdes	Trituração dos resíduos garantindo dimensões ajustadas ao desenvolvimento do processo de compostagem (25 - 75 mm) Capacidade: 30 - 40 m³/h	
Dumper/ Equipamento de mistura de resíduos e construção de pilhas	Mistura dos resíduos antes da incorporação nas pilhas de compostagem e construção das pilhas. No caso da ausência de equipamento específico este equipamento poderá efetuar o revolvimento das pilhas	
Equipamento de revolvimento das pilhas de compostagem (volteador)	Revolvimento das pilhas de compostagem Capacidade: 200 - 1200 m³/min	
Crivo	Afinação do composto final garantindo a sua homogeneidade e granulometria ótima para ser utilizado (10-20 mm) Capacidade: 15 – 25m³/h	
Tela protetora	Material geotêxtil para impermeabilização das pilhas, impedindo a entrada de água da chuva e a perda de calor.	
Equipamento de monitorização e controlo do processo	Sonda de Temperatura digital	
	Sonda de humidade digital	Monitorização e controlo do processo de compostagem
	Medidor de pH	
Equipamento de Rega (reservatório, mangueira e motor de rega)	Garantia das necessidades de água do processo	

Relativamente às infraestruturas de apoio necessárias ao funcionamento do CMC, verificou-se a necessidade de construção de uma plataforma impermeabilizada ligeiramente inclinada (2 – 4 %) com sistema de drenagem integrado e depósito de armazenamento de águas pluviais e de lixiviados nas pilhas de compostagem, que posteriormente serão descarregadas no sistema municipal de águas residuais ^[14].

A descrição das infraestruturas necessárias encontra-se na Tabela 44.

Tabela 44-Descrição das infraestruturas necessárias para o funcionamento do CMC.

Infraestruturas	Descrição
Plataforma impermeabilizada	Plataforma de compostagem, isto é, zona ativa de compostagem deverá ser ligeiramente inclinada (2-4 %) ^[14] , pavimentada com material betuminoso possibilitando a correta drenagem de águas pluviais e lixiviados. A plataforma impermeabilizada deverá envolver as três zonas de terreno distintas relativas às cinco fases do processo.
Sistema de drenagem	Construção de valas de drenagem ao longo da plataforma impermeabilizada para recolha de águas pluviais e lixiviado.
Estrutura de proteção (cobertura) da zona de maturação/afinação e armazenamento	Instalação de uma cobertura na zona de maturação/afinação e armazenamento para proteção do composto.
Estrutura de proteção	Instalação de uma adequada vedação ao redor de todo o CMC

O CMC deverá ter uma Portaria, onde deverá estar instalada uma báscula, e onde devem ser controladas as entradas de resíduos, um armazém de manutenção, onde deverão ser armazenados todos os equipamentos de pequena dimensão utilizados, como os sensores de temperatura, humidade e pH, e um edifício administrativo, onde deverá existir um local de apoio aos meios humanos necessários ao funcionamento. O armazém de manutenção e o edifício administrativo deverão ocupar uma área de 50 m².

Tendo em conta a dimensão do CMC estimou-se a necessidade da presença de dois colaboradores permanentes.

4.2.8 DESCRIÇÃO DO MODO DE FUNCIONAMENTO DO CMC

(1) Recolha de Resíduos Verdes

Os resíduos verdes rececionados no CMC, numa fase inicial do processo, deverão ser os atualmente recolhidos no ecocentro municipal, uma vez que se pretende que os resíduos verdes deixem de ser admitidos no ecocentro e passem na sua totalidade a ser admitidos no CMC. No entanto, pretendem-se instalar circuitos especiais de recolha seletiva de resíduos verdes que permitam a retirada da totalidade dos resíduos verdes que são recolhidos indiferenciadamente, nomeadamente em cemitérios.

(2) Receção e Pré-Processamento dos Resíduos Verdes

Na entrada do CMC, na portaria, os veículos de transporte resíduos devem ser pesados na báscula. O peso do veículo deve ser registado e a carga deve ser visualmente inspecionada pelo colaborador. Seguidamente, os resíduos verdes devem ser descarregados no depósito destinado aos resíduos verdes e deve ser efetuada a sua triagem, fazendo a separação, quando possível, das diferentes tipologias de resíduos verdes. Os resíduos após sofrerem triagem devem ser triturados, para isso, no espaço contíguo ao depósito dos resíduos deve encontrar-se o equipamento de trituração.

(3) Mistura de Resíduos

Após trituração dos resíduos deve ser definida a mistura, atendendo à tipologia de resíduos rececionados para que sejam obtidas condições ótimas de desenvolvimento do processo. A mistura deve apresentar uma razão C/N ideal, ou seja, entre 25 e 35 e um teor de humidade compreendido entre 45 e 60% ^{[86][91]}. Com base no ensaio verificou-se que a compostagem com a incorporação de serradura de madeira apresenta bons resultados, sendo por isso uma opção viável para o processo a realizar no CMC.

(4) Construção das pilhas de compostagem

Numa fase posterior à trituração dos resíduos, devem ser construídas as pilhas de compostagem.

A construção das pilhas de compostagem deve ser paralela à inclinação da plataforma impermeabilizada, para prevenir que as escorrências se façam através das pilhas.

(5) Monitorização e controlo do processo de compostagem

O processo de compostagem deve ser monitorizado ao longo do tempo. É através da monitorização de parâmetros como a temperatura, humidade e pH que se torna possível controlar o desenvolvimento do processo. Os procedimentos de controlo do processo são o revolvimento e a rega das pilhas.

A frequência do revolvimento deve ser definida tendo em conta a temperatura da pilha, devendo este ser realizado quando registadas temperaturas acima da gama ótima para a realização do processo (superiores a 60 °C durante mais de 1 hora) ou no caso da ocorrência de uma descida da temperatura, após a sua subida, para garantir que não está relacionada com a compactação do material. Assim, a monitorização da temperatura irá definir a frequência de revolvimento das pilhas.

A monitorização da humidade da pilha permitirá definir a necessidade de rega das pilhas. Deve ser adicionada água quando os valores se encontram abaixo dos ideais para o desenvolvimento do processo. A rega deve ser efetuada simultaneamente ao revolvimento das pilhas para que seja garantida a distribuição uniforme de água.

A monitorização da temperatura e humidade deve ser realizada diariamente.

(6) Maturação, Afinação e Armazenamento do composto

Após a fase ativa de compostagem deve verificar-se o estado de maturação do composto e devem ser efetuadas análises laboratoriais para aferir a qualidade do composto produzido.

O composto deve ser transportado para a zona de afinação do composto, onde se deve proceder à sua crivagem. Por fim, o composto final deve ser armazenado na área dimensionada para esse fim

5

CONCLUSÃO

Os biorresíduos são os resíduos biodegradáveis de parques e jardins, os resíduos alimentares e resíduos semelhantes de unidades de transformação de alimentos e representam uma parcela muito importante na composição média dos resíduos urbanos produzidos em Portugal, sendo que em 2010 representavam cerca de 43 % da quantidade total de resíduos urbanos.

Embora com menor expressão, a importância dos biorresíduos na composição dos resíduos urbanos é também visível no município de Paços de Ferreira, representando em 2011 cerca de 33 % da totalidade dos resíduos urbanos depositados em aterro.

No contexto da hierarquia da gestão dos resíduos as políticas têm vindo a ser alteradas no sentido da diminuição da quantidade de resíduos biodegradáveis encaminhados para aterro. Este objetivo pode ser atingido através da valorização orgânica aeróbia e/ou anaeróbia dos resíduos.

A valorização orgânica aeróbia, vulgarmente conhecida por compostagem, representa o tratamento orgânico mais comum e caracteriza-se por ser uma tecnologia de elevada flexibilidade operacional, ou seja, que consiste num processo em que se atinge uma elevada eficiência a um custo reduzido.

Na presente dissertação foi estudado o sistema de gestão de resíduos urbanos no município de Paços de Ferreira, dando particular importância aos biorresíduos, mais especificamente aos resíduos verdes, que são recolhidos em grandes quantidades e não são atualmente sujeitos a nenhuma forma de valorização controlada.

O Vale do Sousa, e em particular o município de Paços de Ferreira, possuem neste momento uma boa organização e uma boa dinâmica ao nível da gestão de resíduos sólidos urbanos. Seja a nível da recolha, tratamento e deposição de resíduos indiferenciados ou a nível da recolha, triagem e encaminhamento de várias fileiras de recolha seletiva, os resultados conseguidos são de qualidade e estão a um bom nível.

No entanto, este trabalho revelou que apesar de a fração de biorresíduos ter uma enorme representatividade na composição dos resíduos urbanos no Vale do Sousa e em particular no município de Paços de Ferreira, não é realizado qualquer tipo de valorização desta fileira sendo até a informação disponível demasiado escassa.

Nesse sentido foi efetuado um estudo sobre a implementação de um centro de compostagem, que envolveu o desenvolvimento de um ensaio piloto de compostagem para o estudo e seleção de uma formulação adequada de uma mistura a utilizar no processo de compostagem, incorporando os resíduos rececionados em maior quantidade no ecocentro municipal e com potencialidade de valorização orgânica, ou seja os resíduos verdes e serradura de madeira. Foram elaboradas misturas de resíduos com o objetivo de estudar a sua apetência para futuras utilizações no centro de compostagem a dimensionar.

Concretamente foram formuladas três misturas de resíduos. Optou-se por fazer misturas em que o resíduo de aparas de relva fosse o fator comum, fazendo variar as restantes componentes, uma vez que é o resíduo rececionado em maior quantidade.

A Pilha A foi construída apenas com o material que maioritariamente é colocado no contentor dos resíduos verdes finos, isto é, aparas de relva e uma mistura de aparas relva com outros resíduos de jardim (chegam já misturados ao contentor), com percentagem de 75 % e 25 %, respetivamente. A construção desta pilha foi do interesse da CMPF, uma vez que representou o contentor dos resíduos verdes finos. As percentagens foram obtidas após otimização dos valores para que a mistura tivesse, nomeadamente, uma humidade adequada (cerca de 60%).

As pilhas B e C foram construídas com relva (50 %) mais os restantes componentes. Na pilha B, os restantes componentes foram folhas (50 %) e na pilha C os restantes componentes foram folhas e serradura de madeira (40 % e 10 % respetivamente).

O controlo do processo revelou que a pilha onde o processo de compostagem de desenvolveu melhor foi a pilha C, que incorporou serradura de madeira, mostrando a exequibilidade da sua incorporação em processos de compostagem de resíduos verdes, no entanto, não foi possível avaliar a qualidade final do composto, uma vez

que o processo de compostagem das três pilhas não foi finalizado em tempo útil para a realização das determinações laboratoriais, durante a presente dissertação. Tendo em conta que a serradura de madeira é o material recebido no ecocentro em maiores quantidades, seria viável a sua valorização num processo de compostagem.

O dimensionamento do centro de compostagem foi realizado para processar o dobro da quantidade de resíduos verdes recolhidos atualmente em Paços de Ferreira, numa perspetiva de que no futuro o esteja igualmente preparado para processar resíduos verdes provenientes de outros fluxos para além dos associados a Paços de Ferreira, assim como outros resíduos, tais como a serradura.

Assim, optou-se por dimensionar o centro de compostagem para uma capacidade de tratamento de 4 000 toneladas por ano, que corresponde a aproximadamente o dobro da produção de resíduos verdes em 2011.

Foi definido que a tecnologia de tratamento adequada é a compostagem por pilhas revolvidas em parque aberto e foi proposto como localização ideal o pólo 5 da cidade empresarial de Paços de Ferreira.

Tendo em conta a capacidade máxima de tratamento e a tecnologia de compostagem adotada, estimou-se que seriam necessários 5 254 m² de área para implementar o centro. Da totalidade da área necessária, 4 554 m² são referentes à área ativa de compostagem e os restantes 700 m² são destinados às áreas de apoio e infraestruturas.

AVALIAÇÃO DO TRABALHO REALIZADO E PROPOSTAS DE MELHORIA

Este trabalho permitiu fazer um estudo da gestão de resíduos no município de Paços de Ferreira o que possibilitou o conhecimento da realidade atual, lançando indícios sobre as áreas em que se poderá atuar no futuro numa perspetiva de otimização da recolha de resíduos verdes com vista à sua valorização no centro de compostagem dimensionado.

As principais limitações encontradas no decorrer do trabalho relacionaram-se com o ensaio de compostagem. A instabilidade climática que se observou durante grande

parte do tempo do ensaio influenciou inevitavelmente os resultados, aumentando o tempo de compostagem, o que impediu o término do processo no tempo disponível para este trabalho e por isso impediu a avaliação qualitativa do composto final produzido.

A falta de informação rigorosa relativa à caracterização dos resíduos verdes no município de Paços de Ferreira foi também uma limitação ao desenvolvimento deste trabalho, o que revela a importância de em projetos futuros ser realizada essa caracterização, tornando mais rigorosa a estimativa feita no âmbito deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Pinheiro, L. (2011), Especificações técnicas sobre a utilidade e utilizações do composto, A.P.d. Ambiente, Porto.
- [2] Rocha, C.L.P. (2007), Desenvolvimento de um sistema integrado de gestão de resíduos de natureza orgânica, in Secção Autónoma de Ciências Sociais, Jurídicas e Políticas Aveiro: Universidade de Aveiro.
- [3] Comissão Europeia (2008), Livro Verde sobre a gestão dos bio-resíduos na União Europeia.
- [4] Boldrini, A. and T.H. Christensen (2010), Seasonal generation and composition of garden waste in Aarhus (Denmark). Waste Management.
- [5] Agência Portuguesa do Ambiente - *Resíduos: Gestão de Resíduos*. [Em linha] [Consultado em 8 Nov.2012].
Disponível em [www](http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84):
< <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84>>
- [6] Agência Portuguesa do Ambiente (2010), Caracterização da situação actual, 2010/2011- Sistemas de Gestão de RU - Infra-estruturas e Equipamentos. [Em linha] [Consultado em 20 Nov. 2012]
Disponível em [www](http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=254&sub3ref=260):
<<http://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=84&sub2ref=254&sub3ref=260>>
- [7] SINIAmb – Produção de Resíduos Urbanos. [Em linha] [Consultado em 20 Dez. 2012]
Disponível em [www](http://www.sniamb.apambiente.pt/portalids/Indicadores/FichaIndicador.aspx?IndlD=31):
<<http://sniamb.apambiente.pt/portalids/Indicadores/FichaIndicador.aspx?IndlD=31>>
- [8] Instituto Nacional de Estatística (2012), Estatísticas do Ambiente 2011, Lisboa.
- [9] Agência Portuguesa do Ambiente (2011), Resíduos Urbanos em 2010, Portugal.

- [10] SINIAmb – Tratamento e Destino de Resíduos Urbanos. [Em linha] [Consultado em 20 Dez. 2012].
Disponível em [www:](http://sniamb.apambiente.pt/portalids/Indicadores/FichaIndicador.aspx?IndlD=131)
<<http://sniamb.apambiente.pt/portalids/Indicadores/FichaIndicador.aspx?IndlD=131>>
- [11] Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional (2007), PERSU II – Plano Estratégico para os Resíduos Sólidos Urbanos 2007 – 2016. [Em linha] [Consultado em 12 Dez. 2012]
Disponível em [www:](http://www.maotdr.gov.pt/Admin/Files/Documents/PERSU.pdf)
<<http://www.maotdr.gov.pt/Admin/Files/Documents/PERSU.pdf>>
- [12] Santos, J.L.D.d. (2007), Caracterização Físico-química e Biológica em Diferentes Laboratórios de Produtos Obtidos a partir da Compostagem de Resíduos Orgânicos Biodegradáveis, in Departamento de Zoologia e Antropologia: Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. p. 122.
- [13] Gotas, H.B. (1959), Compostage et Assanissement. Organization Mondiale de la Santé, Genève, pp. 13-34.
- [14] Rynk, R., M. Van De Kamp, G.B. Wilson, M.E. Singley, T.L. Richard, J.J. Kolega, F.R. Gouin, L.L. JR, D. Kay, D.W. Murphy, H.A.J. Hoitink and W.F. Brinton (1992), On-Farm Composting Handbook. Cooperative Extension, Natural Resources, Agriculture, and Engineering Service (NRAES) Publication, Ithaca, NY.
- [15] Hughes, E.G. (1980), The Composting of Municipal Wastes, in Handbook of Organic Waste Conversion, Michael WM Bewick, Van Nostrand Reinhold, Editors, Env. Engrs. Series.
- [16] Gotas, H.B. (1956), Composting Sanitary Disposal and Reclamation of Organic Wastes, World Health Organisation, Geneva.
- [17] Fernandes, P.A.L. (1999), Estudo Comparativo e Avaliação de Diferentes Sistemas de Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos, in Departamento de Engenharia Civil: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, p.113.
- [18] Haug, R.T. (1993), The Practical Handbook of Compost Engineering, Lewis Publishers.

- [19] Tchobanoglous, G., F.L. Burton, and H.D. Stensel (2003), *Wastewater Engineering: treatment and reuse*, ed. Metcalf and Eddy. McGraw-Hill.
- [20] Pereira Neto, J. T. (1987), *A Low Cost Technology Approach on the Treatment of Municipal Refuse and Sewage Sludge Using Aerated Static Pile Composting*, in University of Leeds.
- [21] Hernández, T., G. Masciandaro, J. I. Moreno, C. García (2006), Changes in organic matter composition during composting of two digested sewage sludge. *Waste Management* 26, pp. 1370-1376.
- [22] Epstein, E. (2011), *Industrial Composting: Environmental Engineering and Facilities Management*. Taylor and Francis.
- [23] Santos, L.M.d.C. (2001), *Resíduos com interesse agrícola. Evolução de parâmetros da sua compostagem*, ed. Instituto Politécnico de Bragança.
- [24] Turovskiy, I.S. and P.K. Mathai (2006), *Wastewater sludge processing*. Wiley-Interscience.
- [25] Cunha Queda, A.C.F. (1999), *Dinâmica do azoto durante a compostagem de materiais biológicos putrescíveis*, in Instituto Superior de Agronomia: Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 257 pp.
- [26] Livestock Engineering Unit & Environmental Practices Unit(2005), *Manure Composting Manual*. Alberta Agriculture, Food and Rural Development, Canada.
- [27] Martinho, M. and M. Gonçalves (2000), *Gestão de resíduos*. Universidade Aberta, Lisboa.
- [28] Felícia, D.G. (2009), *Estudo do comportamento do resíduo papel no processo de compostagem*, in Departamento de Ambiente e Ordenamento: Universidade de Aveiro, p.132.
- [29] Kreith, F. and G. Tchobanoglous (2002), *Handbook of solid waste management*. 2a ed.: McGraw-Hill.
- [30] Diaz, L.F., M. De Bertoldi, W. Bidlingmaier and E. Stentiford (2007), *Compost Science and Technology*, ed. L.F. Diaz, et al.: Elsevier.
- [31] Almeida Duarte, E. and A.C. Cunha-Queda (2005), *Estratégias de obtenção de compostos de qualidade com potencial para valorização agrícola*, in Escola Superior de Biotecnologia: Universidade Católica Portuguesa.

- [32] Goncalves, M.S. (2005), Gestão de resíduos orgânicos, ed. SPI – Sociedade Portuguesa de Inovação, Principia, Publicações Universitárias e Científicas.
- [33] Vallini, G. (1995), Compost, in Dizionario dell'ambiente, Ed. Gamba, G., Martignetti, G., ISEDI, UTET Libreria, Torino. p. 173-174
- [34] Batista, J.G.F. and E.R.B. Batista (2007), Compostagem: Utilização de compostos em horticultura. Universidade dos Acores, Angra do Heroísmo. p. 252.
- [35] Cordeiro, N.M. (2010), Compostagem de resíduos verdes e avaliação da qualidade dos compostos obtidos - caso de estudo da algar S.A., in Engenharia do Ambiente – Tecnologias Ambientais: Instituto Superior de Agronomia: Universidade Técnica de Lisboa.
- [36] Mustin, M. (1987), Le compost Gestion de la matière organique, ed. François Dubusc. p. 954.
- [37] Ham, R.K. and D.P. Komilis (2003), A Laboratory Study to Investigate Gaseous Emissions and Solids Decomposition During Composting of Municipal Solid Wastes. US Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA.
- [38] Benito, M., A. Masaguer, R. Antonio, A. Moliner (2005), Blending green feedstocks at a Madrid composting facility. Biocycle 46: p. 72–74.
- [39] Williams, P.T. (1998), Waste Treatment and Disposal, ed. John Wiley and Sons Ltd. p. 417.
- [40] Bary, A.I., C.G. Cogger, D.M. Sullivan, E.A. Myher (2005), Characterization of fresh yard trimmings for agricultural use. Bioresource Technology, 96:p. 1499–1504.
- [41] Ward, C., A. Litterick, N. Stephen (2005), Assessment of the Potential for Site and Seasonal Variation of Composted Material Across the UK. WRAP, Banbury, UK.
- [42] Hay, J., H. Ahn, S. Chang, R. Caballero, and H. Kellogg (1988), Alternative bulking agent for sludge composting. BioCycle: p. 48 - 52.
- [43] de Guardia, A., S. Brunet, D. Rogeau, and G. Matejka (2002), Fractionation and characterisation of dissolved organic matter from composting green wastes. Bioresource Technology, 83(3): p. 181-187.
- [44] Krogmann, U. and I. Körner (2008), Technology and Strategies of Composting, in Biotechnology: Wiley-VCH Verlag GmbH. p. 127-150.

- [45] Diaz, L.F., G.M. Savage, L.L. Eggerth, and A. Chiumenti (2007), Systems used in composting, in *Compost Science and Technology*, L.F. Diaz, et al., Editors.: Elsevier. p. 67-87
- [46] BACKHUS – Windrow Turner. [Em linha] [Consultado em 10 Jan.2013]
Disponível em [www:](http://www.backhus.com/13-3-Dreiecksmietenumsetzer.html)
< <http://www.backhus.com/13-3-Dreiecksmietenumsetzer.html>>.
- [47] Golueke, C.G. and P.H. McGauhey (1953), Reclamation of municipal refuse by composting. *Technical Bulletin* 9. p. 89.
- [48] Cardenas, Jr. R. R. and L.K. Wang (1980), *Handbook of Environmental Engineering*. Humana Press, Clifton N.Y., USA. p. 269 – 327.
- [49] Shamas, N.K. and L.K. Wang (2008), Biosolids Composting, in *Handbook of Environmental Engineering - Biological Treatment Processes*, L.K. Wang, N.C. Pereira, and Y.-T. Hung, Editors.: Humana Press. p. 669 - 714.
- [50] United States Environmental Protection Agency, United States Department of Agriculture (USDA), and Natural Resources Conservation Service (NRCS) (2010), Chapter 2 Composting, in *National Engineering Handbook - Part 637 Environmental Engineering*, Washington, DC: US Dept. of Agriculture.
- [51] Golueke, C.G. (1981), Principles of Biological Resource Recovery, *Biocycle* 22. p.36 – 40.
- [52] Alexander, M. (1977) – *Introduction to Soil Microbiology*, Wiley and Sons, New York.
- [53] Insam, H. and M. Bertoldi (2007), Microbiology of the Composting Process, in *Compost Science and Technology*, L.F. Diaz, et al., Editors.: Elsevier. p. 26 - 48.
- [54] Anónimo (2008), *Especificações Técnicas sobre Qualidade e Utilizações do Composto*, A.P.d. Ambiente, Editor Lisboa.
- [55] Tchobanoglous, G., H. Theisen, S. Vigil (1993), *Integrated Solid Waste Management: Engineering Principles and Management Issues*. Civil. Engineering Series, McGraw- Hill International Editions, New York. p. 978
- [56] Brito, L.M.C.M. (2005), *Manual de Compostagem*, in *Escola Superior Agrária de Ponte de Lima*, Instituto Superior de Viana do Castelo.

- [57] Russo, M.A.T. (2004). Introdução à compostagem de resíduos sólidos. Escola Superior de tecnologia e Gestão, Instituto Superior Politécnico de Viana do Castelo, p. 81.
- [58] Venglosky, J., N. Sasakova, M.Vargova, Z.Pacajova, I.Placha, M.Petrovsky and D. Harichova (2005), Evolution of temperature and chemical parameters during composting of the pig slurry solid fraction amended with natural zeolito. *Bioresource Technology* 96, p.181-189.
- [59] Hoornweg, D., L. Thomas and L. Otten (2000), *Composting and its Applicability in Developing Countries*. Urban Waste Manegement, The World Bank, Washington D.C.
- [60] Pereira Neto, J.T. and E.I. Stentiford (1989), A Low Cost Controlled Windrow System in the proceedings of the international symposium on Compost Recycling of Wastes, Athenas.
- [61] Diaz, L.F. and G.M. Savage (2007), Factors that Affect the Process, in *Compost Science and Technology*, L.F. Diaz, et al., Editors.: Elsevier. p. 49 - 65.
- [62] Bidlingmaier, W. and J. Musken (2007), Odor emissions from composting plants, in *Compost Science and Technology*, L.F. Diaz, et al., Editors.: Elsevier. p. 215 - 324.
- [63] L.F. Diaz, G.M. Savage, L.L. Eggerth and C.G. Golueke (1993), *Composting and Recycling Municipal Solid Waste*, Lewis Publishers, Boca Raton, Florida. p.296.
- [64] Felícia, D.G. (2009), Estudo do comportamento do resíduo papel no processo de compostagem, in *Departamento de Ambiente e Ordenamento: Universidade de Aveiro*.
- [65] Martins, O. and T. Dewes (1992), Loss of nitrogenous compounds during composting of animal wastes. *Bioresource Technology*, 42(2): p. 103-111.
- [66] Epstein, E. (1997), *The Science of Composting*. CRC Press. p.487.
- [67] Tittarelli, F., G. Petruzzelli, B. Pezzarossa, M. Civilini, A. Benedetti, and P. Sequi (2007), Quality and agronomic use of compost, in *Compost Science and Technology*, L.F. Diaz, et al., Editors.:Elsevier. p. 119 - 157.
- [68] Willey, J.M., L. Sherwood, C.J. Woolverton, and L.M. Prescott (2008), Prescott, Harley, and Klein's Microbiology. McGraw-Hill Higher Education.

- [69] Golueke, C.G. (1991), Principles of Composting In The Biocycle Guide to the Art & Science of Composting. The Staff of Biocycle (Eds). The J.G. Press, Inc. Emmaus, Pennsylvania.
- [70] U.S. Environmental Protection Agency - Office of Solid Waste and Emergency Response (1994), Composting of yard trimmings and municipal solid waste. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response.
- [71] Almeida Duarte, E.C.N.F. and Cunha Queda, A.C.F. (2003), A Valorização Agrícola do Composto Proveniente da Fracção Orgânica de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).
- [72] Eggerth, L.L., L.F. Diaz, M.T.F. Chang, and L. Iseppi (2007), Marketing of composts, in Compost Science and Technology, M.d.B.W.B. L.F. Diaz and E. Stentiford, Editors.: Elsevier. p. 325-355.
- [73] European Commission - Directorate-General Environment (2001), Working Document -Biological Treatment of Biowaste-2nd Draft
- [74] Câmara Municipal de Paços de Ferreira - Ambiente e Qualidade de Vida. [Em linha] [Consultado em 20 Dez. 2012]
Disponível em [www:](http://www.cm-pacosdeferreira.pt/VSD/PacosFerreira/vPT/Publica/AccaoMunicipal/Ambiente/)
<http://www.cm-pacosdeferreira.pt/VSD/PacosFerreira/vPT/Publica/AccaoMunicipal/Ambiente/>
- [75] Instituto Nacional de Estatística – Reorganização Administrativa Territorial Autárquica. [Em linha] [Consultado em 12 Nov. 2012]
Disponível em [www:](http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=rau2012_municipio_ficha&ddcc=1309)
<http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=rau2012_municipio_ficha&ddcc=1309>
- [76] Mapas de Portugal - *Concelho de Paços de Ferreira*. [Em linha] [Consultado em 20 Nov. 2012]
Disponível em [www: <www.mapadeportugal.net>](http://www.mapadeportugal.net)
- [77] Instituto Nacional de Estatística (2011), *Censos 2011*.
- [78] REGULAMENTO N.º 133/2012, Diário da República, 2.ª série — N.º 64 — 29 de março de 2012.

- [79] Ambisousa (2011), *Relatório & Contas 2011*. [Em linha] [Consultado em 20 Nov. 2012]
Disponível em www:
<<http://www.ambisousa.pt/uploads/media/rc2012-ambisousa.pdf>>
- [80] Ambisousa (2007), *Relatório & Contas 2007*. [Em linha] [Consultado em 13 Nov. 2012]
Disponível em www:
< http://www.ambisousa.pt/uploads/media/Relatorio_e_Contas_2007.pdf>
- [81] Ambisousa (2008), *Relatório & Contas 2008*. [Em linha] [Consultado em 13 Nov. 2012]
Disponível em www:
<http://www.ambisousa.pt/uploads/media/Relatorio_e_Contas_2008.pdf>
- [82] Ambisousa (2009), *Relatório & Contas 2009*. [Em linha] [Consultado em 7 Nov. 2012]
Disponível em www:
< http://www.ambisousa.pt/uploads/media/Relatorio_e_Contas_2009.pdf>
- [83] Ambisousa (2010), *Relatório & Contas 2010*. [Em linha] [Consultado em 13 Dez. 2012]
Disponível em www: <<http://www.ambisousa.pt/uploads/media/ambisousa-rc2010.pdf>>
- [84] Ambisousa (2011), *Relatório LCR/651/2011-Characterização de Resíduos Sólidos indiferenciados do Vale do Sousa*.
- [85] British Columbia of Agriculture and Food, *Composting Factsheet- Characteristics of On-Farm Composting Materials*. [Em Linha] [Consultado em 11 de Out. de 2012]
Disponível em www:
<http://agf.gov.bc.ca/resmgmt/publist/300Series/382500-3.pdf>>
- [86] Kumar, M., Y.-L. Ou, and J.-G. Lin (2010), *Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio*. *Waste Management*, 30(4): p. 602-609.
- [87] *PFR Invest- Cidade Empresarial*. [Em linha] [Consultado em 22 Nov.2012]
Disponível em www: < <http://www.pfrinvest.pt/cidade-empresarial>>

- [88] Fernandes, M.J.C. (2012), *Avaliação do processo a implementar numa central de compostagem: Formulação de misturas de Resíduos*, in Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [89] PFR Invest (2011), *Relatório Anual de Gestão e Contas*.
- [90] PFR Invest (2010), *Estudo de Impacte Ambiental do Projecto do Pólo 5 da Cidade Empresarial de Paços de Ferreira*.
- [91] US EPA (2002), *Use of Composting for Biosolids Management*, in *Biosolids Technology FactSheet*, U.E.P. Agency, Editor Office of Water, Washington DC .
- [92] Algar – Unidades de Compostagem. [Em linha] [Consultado em 10 Jan.2013]
Disponível em [www](http://www.algar.com.pt/pt/subsubmenutopo.asp?idtopo=4&idsubmenu=24&idsububmenu=25):
<<http://www.algar.com.pt/pt/subsubmenutopo.asp?idtopo=4&idsubmenu=24&idsububmenu=25>>.
- [93] Nutriverde. [Em linha] [Consultado em 10 Jan.2013]
Disponível em [www](http://www.nutriverde.pt/pt/default.asp?flag=1&idmenu):
<<http://www.nutriverde.pt/pt/default.asp?flag=1&idmenu>

Anexo I COMPOSTAGEM

1 Perspetiva Histórica

Segundo Hughes^[15], em 1843 foi registada nos Estado Unidos da América, EUA, por George Bommer, uma patente denominada *Bommer Method of Making Manure*. Esta patente está associada a um processo que compreendia a decomposição de resíduos agrícolas a partir da sua colocação numa grelha, onde ocorria a recirculação dos lixiviados produzidos. Apesar de bastante primitivo tecnologicamente este método pode ser considerado um dos processos pioneiros de estudo de compostagem de uma forma mais científica.

No entanto, os processos de compostagem cientificamente mais desenvolvidos e controlados apenas surgiram nos anos 20, com o desenvolvimento de um sistema de produção de composto com características bastante satisfatórias em termos agronómicos. Este processo, denominado *Indore*, foi desenvolvido na Índia por Sir. Albert Howard e consistia na colocação de resíduos verdes (palha e folhas seca) e fezes de animais amontoados em pilhas, onde se atingiam temperaturas elevadas. O processo tinha normalmente uma duração de 6 meses durante os quais se efetuavam dois revolvimentos^[16].

A primeira instalação de compostagem em grande escala foi instalada em 1932, na Holanda, e funcionava com um *Processo Indore* modificado, mais tarde designado de *Processo Van Ma*^[17].

Em 1935, na Índia, surgiu o *Processo Bangalore*, que constituiu uma melhoria ao *Processo Indore* através da colocação alternada de camadas de resíduos sólidos e de águas residuais domésticas, esgoto. Em 2010 encontravam-se em funcionamento 2 500 instalações com este processo de compostagem^[17].

Entre 1926 e 1940, foram realizadas por Waksman experiências laboratoriais, envolvendo a compostagem de dejetos de animais proveniente de estábulos e resíduos verdes, que permitiram determinar a influência de parâmetros como a temperatura e microrganismos intervenientes, no processo ^[17].

Entre 1950 e 1952, Gotas ^[16], orientou diversas experiências no sentido de estudar o processo de compostagem de uma mistura de resíduos sólidos urbanos e lamas de águas residuais, determinando a eficiência do processo e a influência de determinados parâmetros, como a temperatura, a mistura, relação Carbono/Azoto (C/N), arejamento, tamanho das partículas e o tipo de microrganismos presentes.

Simultaneamente aos estudos acima referidos foram investigados e concebidos sistemas de compostagem fechados que permitiam um maior controlo dos parâmetros do processo ^[17].

Anexo II REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE DECOMPOSIÇÃO E ESTABILIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA

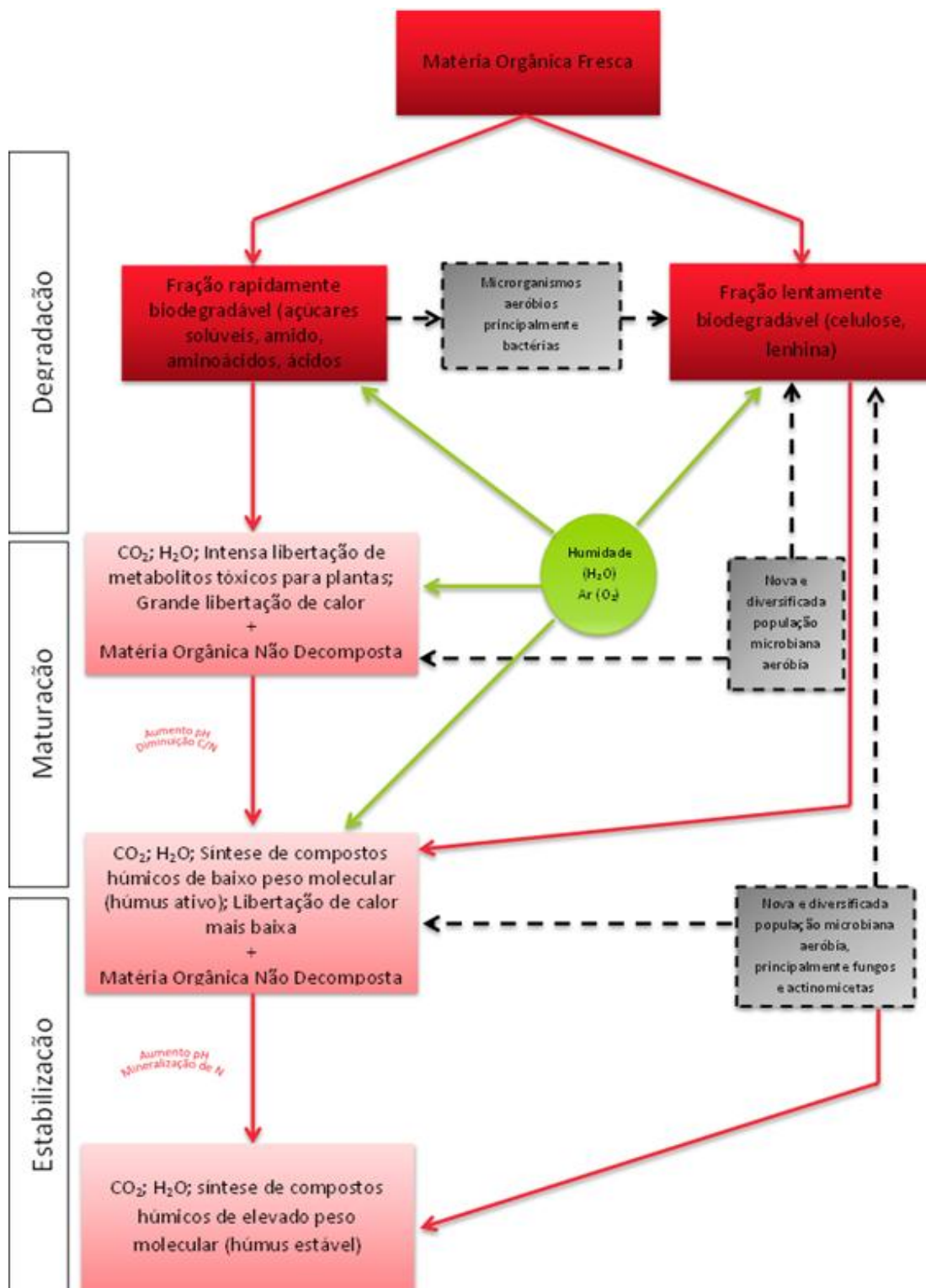


Figura II-1- Representação esquemática do processo de decomposição e estabilização da matéria orgânica (Adaptado de Gonçalves, M.S. ^[32]).

Anexo III RESÍDUOS ORGÂNICOS COMPOSTÁVEIS

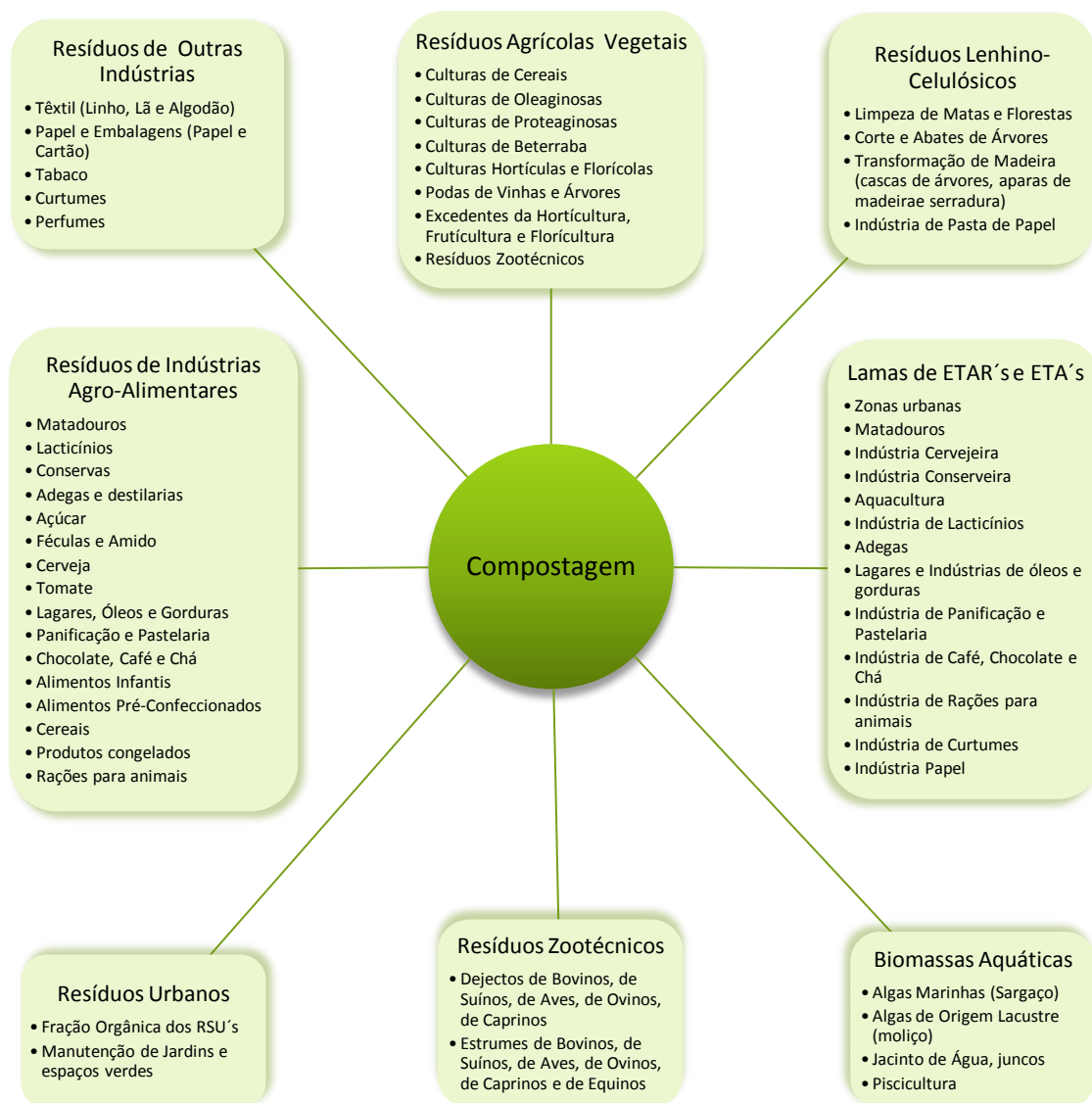


Figura III-1- Resíduos Orgânicos potencialmente utilizados em Compostagem (Adaptado de Cunha Queda, A.C.F ^[25]).

Anexo IV TECNOLOGIAS DE COMPOSTAGEM

1 SISTEMAS ABERTOS

a) Pilhas de Compostagem Passiva

O sistema por pilhas de compostagem passiva consiste num método bastante simples e elementar, com baixos custos de manutenção e operação, uma vez que requer pouco trabalho e equipamento. É um método comumente utilizado na compostagem de folhas e outros resíduos de jardim ^[14].

Este método envolve o simples amontoamento dos materiais numa pilha, onde se decompõem durante um longo período de tempo ^[14]. Este sistema requer o revolvimento da pilha para a manutenção de uma porosidade adequada, embora a frequência de revolvimento seja bastante baixa, decorrendo um longo período de tempo entre os revolvimentos. Para o adequado arejamento dos materiais as pilhas de compostagem passiva devem ser de dimensão pequena para permitir o movimento de ar entre eles. No entanto, este tipo de sistema é propício ao desenvolvimento de condições de anaerobiose e problemas de odores. O arejamento dos materiais é influenciado pela porosidade e estrutura da pilha de compostagem, parâmetros que estão diretamente relacionados com a mistura de materiais utilizados, logo é de extrema importância o conhecimento das características das matérias-primas e o estudo da melhor mistura ^[14].

b) Pilhas ou Leiras Revolvidas

O sistema de pilhas ou leiras revolvidas é a tecnologia de compostagem mais comum, uma vez que apresenta uma relação custo-eficácia elevada. Representa um processo com elevada flexibilidade operacional, podendo ser utilizado no tratamento dos diferentes resíduos orgânicos e por ser economicamente vantajoso, uma vez que não requer avultados investimentos em equipamento ^[17].

Este processo caracteriza-se pela colocação do material a compostar em leiras (pilhas alongadas) que permitem o adequado desenvolvimento do processo de compostagem mas que exigem a realização de revolvimentos frequentes, para garantir o arejamento dos materiais. O revolvimento é efetuado mecanicamente por diversos processos dependentes do tamanho e quantidade de material nas pilhas podendo ser mais ou menos dispendiosos. Este pode ser realizado manualmente, em instalações de pequena dimensão, com recurso a máquinas revolvedoras (Figura IV-1A), normalmente associados a instalações de média dimensão, ou recorrendo a tratores com pás carregadoras (Figura IV-1B)^[14].

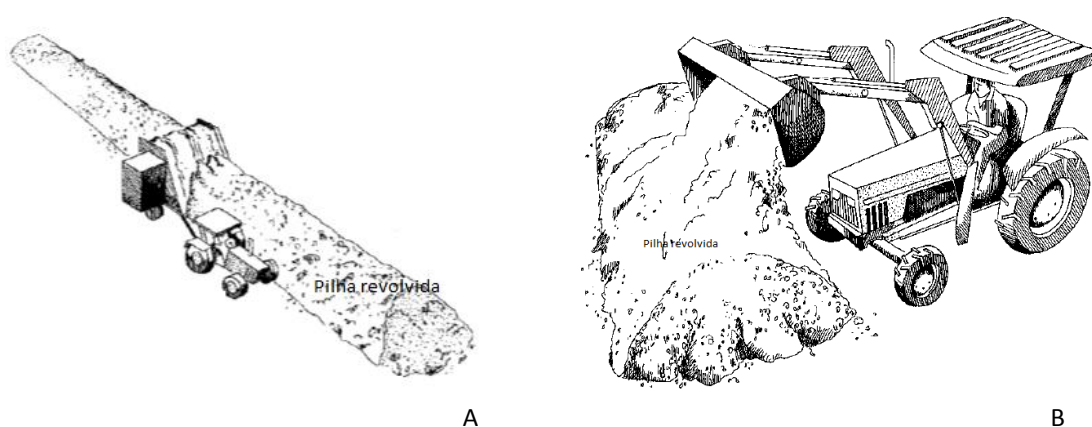


Figura IV-1- A- Revolvimento com máquina revolvedora; B- Revolvimento com trator com pá frontal (Adaptado de Rynk, R. et al. ^[14]).

O arejamento das pilhas de compostagem é também realizado através de ventilação natural, por difusão e convecção do ar, sendo possível, apesar de pouco utilizado, a combinação com o arejamento forçado negativo ou positivo ^[22].

Devido importância do revolvimento, as dimensões das pilhas de compostagem dependem do equipamento de revolvimento utilizado. Geralmente apresentam medidas compreendidas entre 1,5 e 2,7 m de altura e entre 2,7 e 6,1 m de largura ^[22]. O equipamento de revolvimento determina igualmente o espaço necessário entre as pilhas, no sentido de ser possível a sua movimentação.

O arejamento da pilha depende da porosidade do material, logo para que ocorra um arejamento eficaz de uma pilha, as suas dimensões, mais particularmente a altura,

devem ser determinadas tendo em conta a tendência do material utilizado para compactar^[17].

De salientar que em casos de pilhas demasiado grandes podem desenvolver-se zonas de anaerobiose no centro, o que provoca libertação de odores durante o revolvimento. Por outro lado em pilhas de pequena dimensão ocorrem perdas rápidas de calor, podendo não ser atingidas as temperaturas necessárias para que ocorra diminuição da humidade (evaporação) e a correta higienização do material^[17].

O revolvimento da pilha de compostagem permite o aumento da porosidade, a libertação de calor, vapor de água e gases como CO₂, e o fornecimento de oxigénio aos microrganismos aeróbios. Possibilita igualmente quebra de materiais com dimensões elevadas e a sua homogeneização, visto que ocorre a troca dos materiais que se encontram no interior pelos do exterior da pilha, expondo-os às mesmas condições, isto é, às altas temperaturas sentidas no interior da pilha e à ventilação natural existente no exterior^[14]. A necessidade de adição de água ao processo resulta da secagem dos materiais por evaporação e libertação de água, durante o revolvimento^[45].

As máquinas revolvedoras facilitam e tornam mais eficaz a operação de revolvimento, por serem dotadas de mecanismos que permitem levantar, revolver, formar e por vezes humedecer as pilhas de compostagem no mesmo local, economizando espaço e tornando a operação mais rápida.

Existem dois tipos de máquinas revolvedoras que podem ser distinguidas pelo seu modo de operação. Estas podem ser atreladas a um veículo que se desloca ao lado da pilha (Figura IV-2) ou conduzidas sobre as pilhas (Figura IV-3).

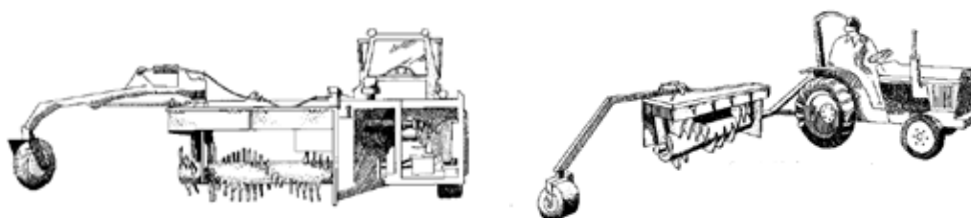


Figura IV-2 - Ilustração de máquinas revolvedoras com veículo atrelado (Adaptado de Rynk, R. *et al.*^[14]).

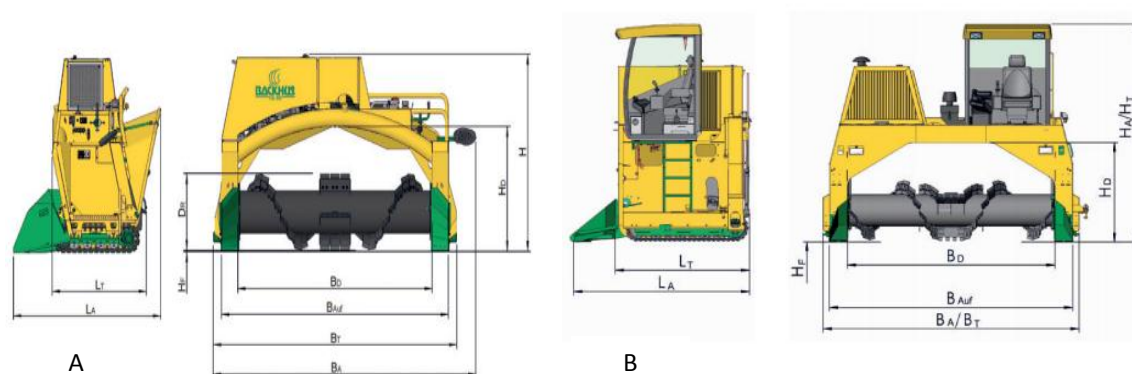


Figura IV-3 - A- Ilustração de uma máquina revolvedora autopropulsora BACKHUS 16.30; B -- Ilustração de uma máquina revolvedora com cabine de manobra incorporada BACKHUS 16.36 (Adaptado de BACKHUS ^[46]).

Relativamente ao método de revolvimento utilizando trator com pá carregadora frontal, é necessário um espaço de manobra bastante maior, uma vez que implicam a destruição da pilha e a reconstrução numa área paralela à primeira.

A frequência de revolvimento é um parâmetro muito importante a considerar que depende da velocidade de decomposição, do teor em humidade, da porosidade do material e do tempo desejado de compostagem. Assim, desde a fase de degradação até à fase de maturação e estabilização a frequência vai diminuindo, uma vez que a taxa de degradação da matéria orgânica também diminui ^[17]. Quanto maior a frequência de revolvimento, menor a duração do processo mas mais elevados os custos operacionais ^[46].

A frequência de revolvimento é um parâmetro muito importante a considerar que depende da velocidade de decomposição, do teor em humidade, da porosidade do material e do tempo desejado de compostagem. Assim, desde a fase de degradação até à fase de maturação e estabilização a frequência vai diminuindo, uma vez que a taxa de degradação da matéria orgânica também diminui ^[14]. Em condições operacionais ótimas, estas pilhas devem ser revolvidas pelo menos cinco vezes quando são atingidas temperaturas iguais ou superiores a 55 °C ^[19].

Tal como já referido, o material a compostar tem influência na frequência de revolvimento. Misturas facilmente degradáveis ou com elevado teor de azoto podem

exigir revolvimentos diários, no início do processo. Com o decorrer do processo a frequência de revolvimento pode ser reduzida a uma vez por semana ^[41].

Apesar de ser geralmente considerado um sistema altamente vantajoso, apresenta alguns inconvenientes. Este processo é bastante influenciado pela ocorrência de forte precipitação, é propício à libertação de odores quando os ciclos de revolvimento são superiores a 5 dias, apresenta normalmente um período e uma área de compostagem maior para permitir a circulação dos equipamentos de revolvimento ^[14].

Os inconvenientes relacionados com as fortes chuvas podem ser ultrapassados com a utilização de telas para cobertura das pilhas. A cobertura pode ser feita com composto já maduro ou com diversas telas especiais para cobertura das pilhas, existentes no mercado, que permitem a entrada de ar e a saída de vapor de água e impossibilitam a infiltração da água da chuva. As telas funcionam como uma proteção contra ventos fortes e permitem o alcance de temperaturas mais elevadas no interior da pilha. São ainda reduzidos os problemas de odores inerentes ao processo. São constituídas por material plástico impermeável ou permeável que permitem atingir temperaturas elevadas mas diminuem o oxigénio disponível. Este tipo de cobertura pode ser mantido durante o processo, sendo retirado apenas durante os revolvimentos.

c) Pilhas Estáticas

O sistema de pilhas estáticas é uma tecnologia de compostagem semelhante ao sistema por pilhas revolvidas, diferindo apenas na ausência de revolvimento. Para o correto desenvolvimento do processo de compostagem é necessário manter as condições adequadas de porosidade da pilha, através do controlo da porosidade da mistura inicial de matérias-primas ou com a adição de agentes estruturantes ^[40].

Segundo Krogman & Körner ^[44], nestes sistemas as pilhas devem apresentar normalmente uma forma piramidal com topo achatado e com dimensões entre 12 e 15 metros na base e até 3 metros de altura. O teor oxigénio na pilha é mantido, através de injetores de ar (arejamento forçado positivo), entre 5 e 15 %. As pilhas são

normalmente cobertas por uma camada de composto maduro, no sentido de minimizar as perdas de calor e humidade da camada exterior da pilha, a libertação de odores indesejados e evitar a atração de moscas. Esta cobertura é também importante como forma de evitar que a infiltração de água da chuva, evitando assim a entrada em anaerobiose e produção de lixiviados ^[17].

No sistema estático por pilhas arejadas, o fornecimento de oxigénio é efetuado através da aplicação de tubos perfurados e abertos nas extremidades por onde flui o ar permitindo o reforço da ventilação no interior da pilha, devido às correntes de convecção do ar, possibilitando atingir as temperaturas adequadas à destruição de microrganismos patogénico mais rapidamente ^[17].

As pilhas de compostagem devem ser construídas com uma mistura de matérias-primas e de um agente estruturante, sobre os tubos perfurados, possibilitando que o ar fresco seja puxado através dos tubos à medida que a temperatura aumenta no centro da pilha, permitindo a oxigenação dos materiais ^[22].

Normalmente estes sistemas requerem a fase de compostagem com arejamento tem uma duração de cerca de 21 dias, seguidos de 6 a 8 semanas de um período de maturação, geralmente em pilhas com sistema se pilhas revolvidas ^[44].

Segundo Fernandes ^[17], a fase de arejamento dura cerca de 3 a 4 semanas e a fase de maturação em pilhas tem uma duração de 1 a 4 meses, para a fase de humificação do composto.

2 SISTEMAS FECHADOS

a) Sistemas Horizontais

A classificação dos sistemas horizontais permite distinguir os sistemas em canais ou trincheiras, em células, em recipientes e em tuneis.

- **Canais**

Caracterizam-se por longos canais dispostos paralelamente, onde ocorre o processo de compostagem. Os canais são constituídos por paredes de betão com altura geralmente compreendida entre 1 e 3 metros, possuem um comprimento de 50 metros e uma largura de 6 metros. Neste processo é utilizado um sistema de arejamento forçado por de injeção de ar, através da base dos canais, e um sistema de revolvimento mecânico para garantir as condições de aerobiose e de porosidade ideais. O equipamento de revolvimento desloca-se ao longo do comprimento dos canais ^[45].

A matéria-prima utilizada neste sistema de compostagem é atualmente conduzida para os canais por uma correia transportadora ou por unidades mecanizadas que utilizam um parafuso de Arquimedes. O processo de recolha do composto é efetuado de forma semelhante semelhantes. Em sistemas de canais mais antiquados eram utilizadas pás carregadoras para descarga das matérias-primas.

A base dos canais é normalmente constituída por uma plataforma de betão ou por material poroso, em caso de instalações mais evoluídas, para facilitar o fluxo de ar que é introduzido por baixo dos materiais ^[46].

O sistema de compostagem em canais pode funcionar em modo contínuo ou em modo *batch*. Em modo contínuo, a deposição das matérias-primas é realizada de forma contínua, com uma frequência diária Estes sistemas podem ser classificados de acordo com direção do movimento do material, em movimento longitudinal e lateral. Em canais com movimento longitudinal os materiais deslocam-se com auxílio de um equipamento de revolvimento, desde o ponto onde o material é descarregado até ao local de recolha do composto ^[45]. O tempo de retenção durante a fase ativa de compostagem depende da frequência de revolvimento e da eficiência do sistema de arejamento forçado, parâmetros que dependem das características das matérias-primas. Na Figura IV-4 encontra-se esquematizado um sistema com este modo de funcionamento.

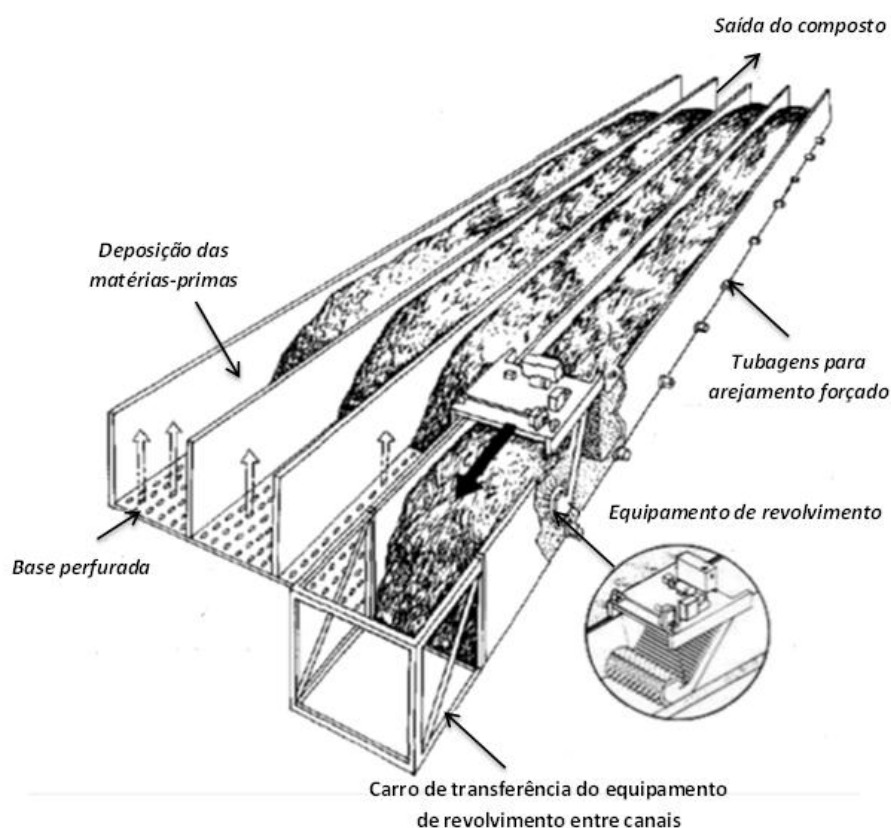


Figura IV-4 -Esquema do sistema de compostagem em canais (Adaptado de Rynk, R. *et al.* ^[14])

Nos sistemas com canais com movimento lateral o material de compostagem é transportado lateralmente para a linha de tratamento seguinte, pelo equipamento de revolvimento. A transferência do material pode ser igualmente realizada por transportadores de tapete ou por correia e ocorre a cerca de cada 2 a 3 dias, dependendo da capacidade volumétrica do canal ^[45]. Normalmente, estes sistemas de compostagem em canais de movimento lateral abrangem a utilização de arejamento forçado e dependem da utilização de tapetes transportadores para encaminharem o material para a zona de maturação ^[45].

No funcionamento em modo *batch*, o material novo só pode ser descarregado no canal quando o material do processo anterior já tiver sido sujeito à primeira fase de tratamento e por isso já tenha sido removido ^[45].

De salientar que os sistemas em canal são instalados unidades fechadas, atualmente projetadas com sistemas de aspiração de ar para tratamento, sendo este encaminhado para um biofiltro ou outro tipo de equipamento de tratamento de ar ^[45].

- **Tambor rotativo**

O sistema de compostagem consiste na utilização de um tambor rotativo horizontal onde ocorre a mistura, arejamento e a movimentação do material ao longo do processo, tal como é esquematizado na Figura IV-5.

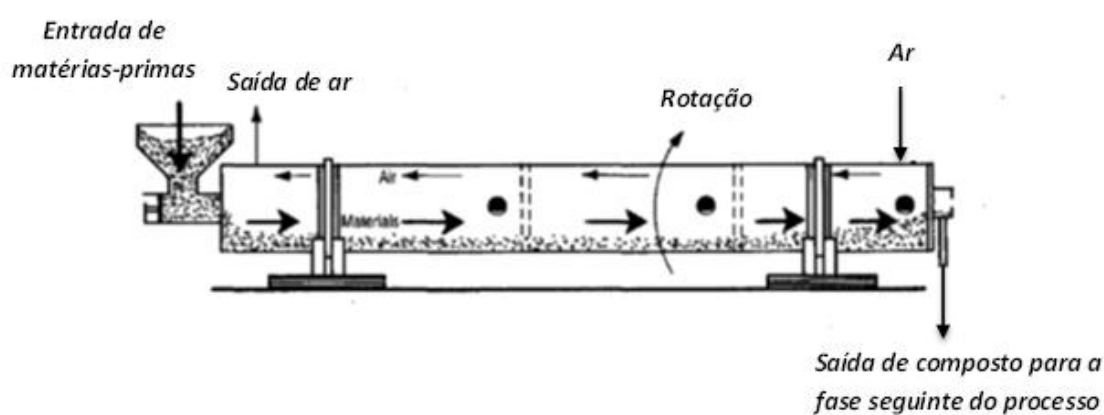


Figura IV-5- Representação esquemática de um sistema de compostagem em tambor rotativo horizontal (Adaptado de Rynk, R. et al. ^[14]).

No interior do tambor o processo de compostagem é iniciado rapidamente, sendo decompostos os materiais altamente degradáveis. Como o material não se encontra totalmente decomposto à saída do tambor de rotação, é necessária a realização de uma segunda fase de compostagem, geralmente em pilhas revolvidas ou estáticas arejadas ^[14].

Em alguns sistemas, os materiais ficam dentro do reator menos de um dia, funcionando o tambor principalmente como um dispositivo de mistura ^[14].

Relativamente ao arejamento, o ar é injetado através da extremidade de descarga do composto e é incorporado no material à medida que vai fluindo, movendo-se na direção oposta à do material.

O tambor pode dividido em compartimentos ou não. Em tambor não compartimentado, o material é movido de forma contínua e na mesma sequência de

entrada. A velocidade de rotação do tambor e a inclinação do eixo de rotação determinam o tempo de retenção dos materiais. Em tambor compartimentado é possível maior controlo do processo do que em tambor aberto. Este é normalmente dividido em 2 ou 3 câmaras separadas e equipadas com caixas / câmaras de transferência com porta. No final de cada dia de operação, é aberta a porta de transferência e é esvaziada a respetiva câmara. As outras câmaras são também abertas e o material é transferido entre elas de forma sequencial, sendo introduzida uma nova carga de material na primeira câmara ^[14].

- **Túnel**

O sistema de compostagem em túnel é caracterizado por ser realizado numa estrutura isolada retangular de betão, metal ou tijolo. Neste sistema, o material é colocado diariamente e de forma constante numa extremidade do túnel e posteriormente vai sendo deslocado ao longo do túnel, no sentido da extremidade oposta, através de um embolo hidráulico ou de uma placa vibratória ^[14]. Pode também ocorrer a alimentação de uma vez só, no interior do túnel, dispondo o material numa pilha no seu interior. Durante o processo é realizada a monitorização do teor em humidade e dos níveis de oxigénio. O controlo da humidade é realizado através de injetores colocados no teto do túnel, dos quais é descarregada água, lixiviados e condensados, que atuam sempre que os níveis sejam demasiado baixos.

Krogmann & Körner ^[44] referem dimensões típicas do túnel com valores entre 4 e 6 m de largura e 30 a 50 m de comprimento. Já Diaz et al. ^[45] refere que a largura deve estar compreendida entre 4 a 5 m, a altura entre 3 a 4 m e o comprimento deve até 30 m.

Nos reatores em túnel pode ocorrer compostagem estática com diferentes níveis de controlo, podendo ser utilizada para uma variada diversidade de matérias-primas ^[44].

Este sistema permite a manutenção dos perfis de humidade e temperatura constantes, devido à recirculação de ar que ocorre, que torna menos necessário o revolvimento dos materiais.

O número de túneis a construir nestas instalações depende da capacidade operacional pretendida. Os túneis são controlados individualmente, sendo adicionado ar fresco, ar recirculado ou uma mistura dos dois através da base, sempre que se torne necessário. A colocação dos materiais e a sua remoção é efetuada através das portas existentes nas extremidades ^[44].

Segundo Krogmann & Körner ^[44], no caso de o tempo de retenção previsto curto (uma semana), a agitação pode ser desprezada apesar de poder ser necessário a realização de um período de maturação em pilha revolvida.

O revolvimento pode ser efetuado por transferência total do material de um túnel para outro ou por equipamentos de revolvimento que podem ser fixos para cada túnel ou moveis, com capacidade de movimentação entre túneis ^[44].

b) Sistemas Verticais

Este tipo de sistemas utiliza normalmente algum tipo de tanque, normalmente de forma cilíndrica, fabricado em diversos tipos de materiais tais como aço e betão.

- **Silo**

O processo de compostagem neste sistema é realizado num reator cilíndrico vertical, onde diariamente é adicionada uma mistura de matérias-primas e material compostado proveniente do ciclo anterior de compostagem.

O sistema de arejamento é caracterizado pela injeção de ar a partir da base do reator, passando o ar através do material, sendo extraído no topo e posteriormente tratado ^[14].

Um tempo de compostagem típico para esse método é de cerca de 14 dias, sendo que deve ser removido e substituído diariamente uma quantidade de material. Depois de sair do silo, o composto deve ser maturado, geralmente num segundo silo ^[14]. A Figura IV-6 representa o esquema de funcionamento de um sistema de compostagem em Silo.

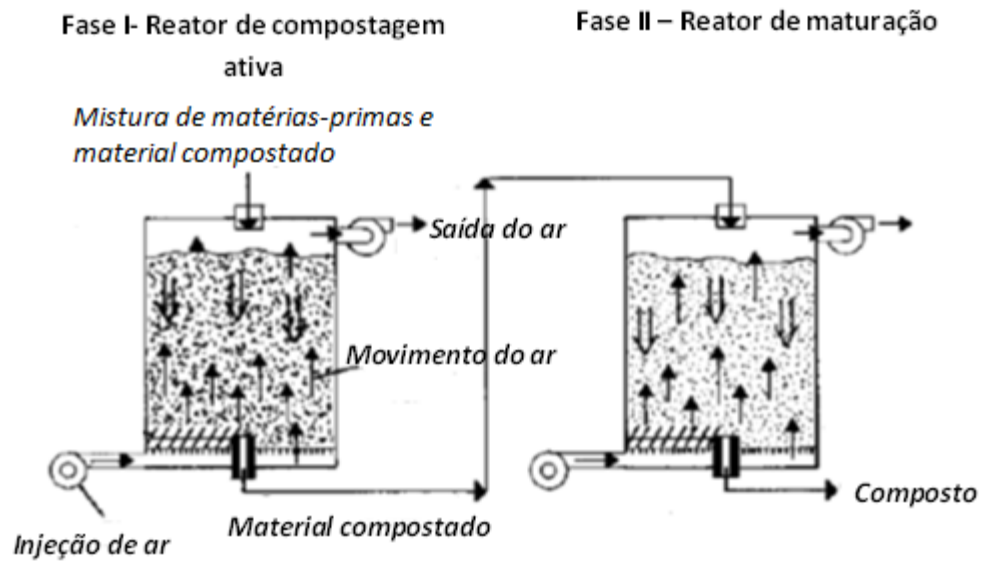


Figura IV-6 - Representação esquemática de um sistema de compostagem Silo (Adaptado de Rynk, R. *et al.* ^[14]).

Anexo V DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CONTROLO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

1 Microrganismos

Golueke ^[51], estimou que 80 a 90% da atividade microbiana nos processos de compostagem era controlada pelas bactérias (incluindo os actinomicetes).

Os actinomicetes têm características suscetíveis de serem classificados como bactérias, o que conduz a alguma confusão quanto à classificação, no entanto devido à sua importância na fase de maturação são descritos separadamente. A sua importância torna-se evidente porque são particularmente ativos na degradação de moléculas orgânicas insolúveis, de elevado peso molecular como a celulose, lignina, proteínas e ceras. Os actinomicetes predominam fundamentalmente na fase termofílica do processo. A dimensão da população depende das características da matéria orgânica, pH e teor de humidade ^[52].

A temperatura ótima de desenvolvimento destes microrganismos é entre 55 e 60 °C, sendo o seu metabolismo reduzido com temperaturas próximas dos 75 °C. Relativamente ao pH, as populações são em maior quantidade quando o pH está compreendido entre 6,5 e 8,0. Estes microrganismos caracterizam-se também por apresentarem muita dificuldade em se desenvolverem quando o teor de oxigénio é baixo ^[17].

Os fungos são muito semelhantes às bactérias organoheterotróficas, pois utilizam muitos substratos orgânicos idênticos, havendo grande competição entre estes microrganismos, no entanto os fungos, são menos atingidos por substratos com elevadas razões C/N, baixo teor de humidade, maiores amplitudes de pH e necessitam de menor quantidade de azoto que as bactérias, e tem a vantagem de conseguirem tornar-se suficientemente competitivos em muitas circunstâncias em que as bactérias não têm condições de crescer rapidamente.

Segundo Fernandes ^[17], estudos realizados em instalações de compostagem demonstraram que, apesar da sua elevada resistência, os fungos não se reproduzem em muito boas condições para temperaturas a partir dos 60 a 65 °C, pelo que as populações de fungos podem ser limitadas por temperaturas elevadas e condições de anaerobiose.

Face às suas características, os protozoários tem uma influência praticamente insignificante nos processos de compostagem, no entanto podem ser responsáveis por um variado número de doenças, logo devem ser eliminados ^[17].

Os vírus não têm um papel construtivo nos processos de compostagem, sendo a única preocupação o seu potencial de transmissão de doenças, tal como com os protozoários, pelo que se devem garantir as condições necessárias à sua destruição ^[17].

Na TabelaV-1 são apresentadas as condições de eliminação (temperatura e tempo de exposição) de alguns organismos patogénicos mais comuns em processos de compostagem.

Tabela V-1 – Temperatura e tempo de exposição necessários para a destruição de alguns organismos patogénicos e parasitas mais frequentes (Adaptado de Tchobanoglous, G. et al. ^[19]).

Organismo	Observações
<i>Salmonella thiphosa</i>	Sem crescimento para além de 46°C; morte em 30 min a 55-60°C e em 20 min a 60°C; destruição num curto espaço de tempo de compostagem
<i>Salmonella sp.</i>	Morte em 1 h a 55°C e em 15-20 min a 60°C
<i>Shigela sp.</i>	Morte em 1 h a 55 °C
<i>Escherichia coli</i>	A maioria morre em 1 h a 55 °C e em 15-20 min a 60 °C
<i>Entamoeba histolytica cysts</i>	Morte em poucos minutos a 45 °C e em poucos segundos a 55 °C
<i>Taenia saginata</i>	Morte em poucos minutos a 55 °C
<i>Trichinella spiralis, Larvae</i>	Morte rápida a 55 °C; morte instantânea a 60 °C
<i>Bricella abortus ou Br. suis</i>	Morte em 3 min a 62-63 °C e em 1 h a 55 °C
<i>Micrococcus pyogenes var. aureus</i>	Morte em 10 min a 50 °C
<i>Streptococcus pyogenes</i>	Morte em 10 min a 54 °C
<i>Mycobacterium tuberculosis var. hominis</i>	Morte em 15-20 min a 66 °C ou após aquecimento momentâneo a 67 °C
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	Morte em 45 min a 55 °C
<i>Necator americanus</i>	Morte em 50 min a 45 °C
<i>Ascaris lumbricoides eggs</i>	Morte em menos de 1 h a temperaturas superiores a 50 °C

2 Estrutura e Granulometria

A porosidade é uma medida do espaço de ar existente entre as partículas, neste caso para avaliar o seu comportamento no interior de uma pilha de composto e determina a resistência ao fluxo de ar. Em materiais muito saturados os espaços são ocupados

por água, impedindo a circulação de ar, se não estiverem saturados os espaços ficam parcialmente preenchidos por ar, facilitando o fornecimento de oxigénio ^[17].

A estrutura das partículas refere-se à sua capacidade de resistência à sedimentação e compactação. Uma boa estrutura impede a redução da porosidade quando a humidade da pilha é elevada ^[17].

Um agente estruturante é um material orgânico ou inorgânico que melhora estrutura da mistura controlando o teor de humidade ou fornecendo porosidade adequada à matéria-prima em causa, favorecendo o arejamento do material. Alguns agentes estruturantes muito usados são aparas de madeira, cascas de arroz, palha, bagaço de uva, jacintos de água, resíduos de jardim, aparas de árvores, borracha desfiada, resíduos agrícolas e cascas de amendoim ^[22].

Diaz et al. ^[63] refere que em compostagem com os materiais predominantemente lenhino-celulósicos deve ser garantida uma granulometria entre 1,2 e 7,0 cm, no sentido uma permitir a circulação de ar entre partículas. Relativamente aos resíduos verdes, a granulometria não deverá ser inferior a 5,0 cm, podendo atingir os 15,0 cm ou mais, dependendo da sua biodegradabilidade. Epstein ^[22] recomenda uma granulometria entre os 2,0 e 5,0 cm para a compostagem de RSU.

Batista & Batista ^[34] referem uma granulometria entre 1,3 a 7,6 cm, sendo que 1,3 corresponde ao valor mínimo para utilização em sistemas com ventilação forçada ou sistemas mistos contínuos e o valor 7,6 cm representa o valor máximo para sistemas em pilhas ou outros sistemas de ventilação passiva. Já Felícia ^[65], sugere um valor semelhante, entre os 2,0 e 7,0 cm.

Também Kreith & Tchobanoglous ^[29] sugerem valores para materiais fibrosos entre 1,3 a 5 cm e materiais verdes muito frescos de 5 a 15 cm.

3 Nutrientes

a) Dinâmica do azoto num processo de compostagem

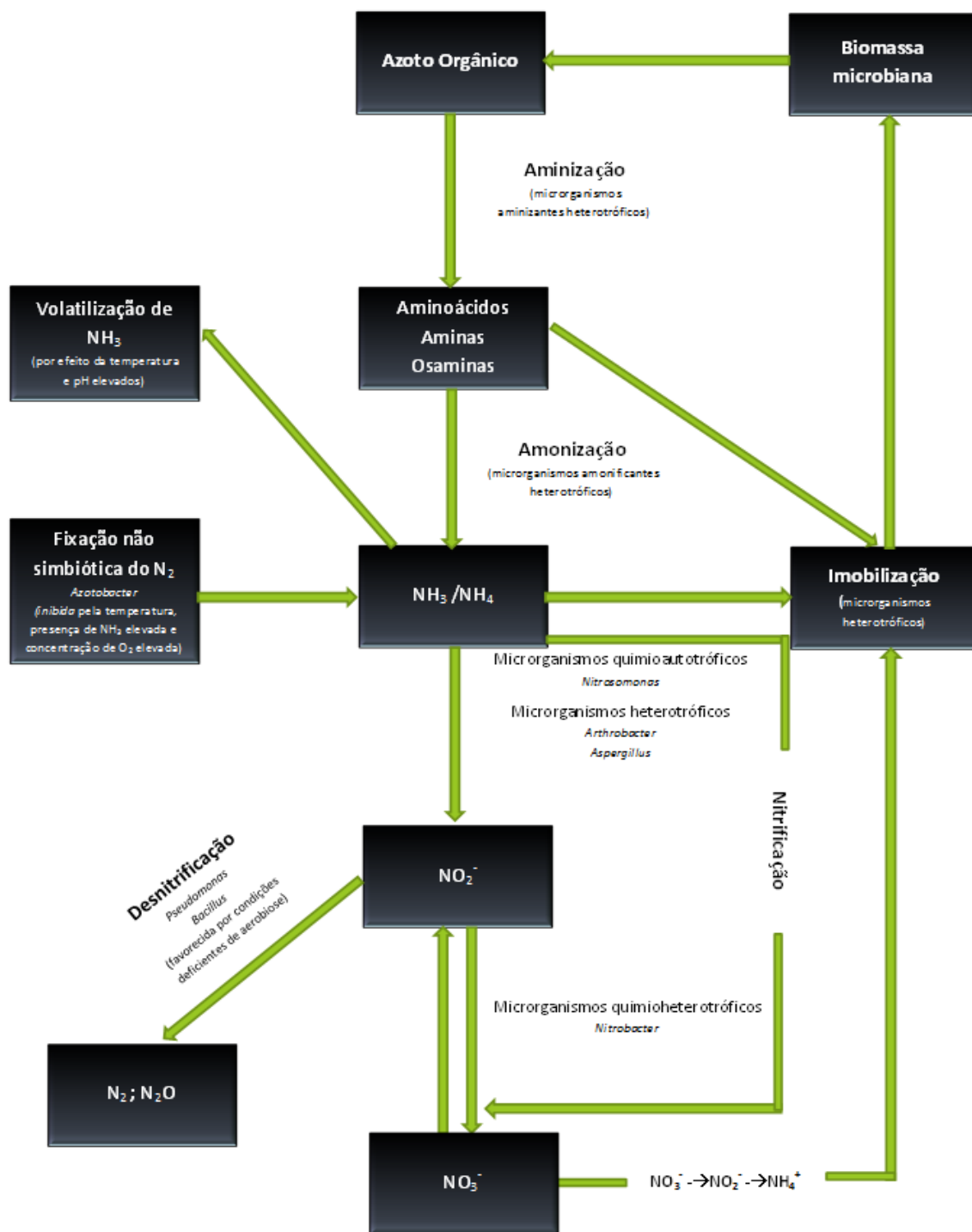


Figura V-1- Dinâmica do azoto num processo de compostagem (Adaptado Cunha Queda, A.C.F. [25]).

Tal como é visível na Figura V-1 as moléculas orgânicas que possuem azoto são degradadas na fase ativa pela ação de microrganismos heterotróficos aminizantes, originando aminas e aminoácidos e osaminas que são transformados em amoníaco, por ação de microrganismos heterotróficos amonificantes. O amoníaco é volatilizado por efeito de aumento da temperatura e do pH, originando uma diminuição do azoto total. Ocorrem também fenómenos de nitrificação.

4 Metais pesados

A avaliação dos efeitos dos metais pesados e da sua mobilidade no composto é possível uma vez que estes se comportam de forma semelhante no composto e no solo, sendo que a concentração no composto é geralmente maior que no solo. Assim, e tendo em conta que a sua acumulação no solo provoca efeitos nefastos no meio ambiente e na cadeia alimentar, torna-se essencial o controlo destes elementos no processo de compostagem ^[56].

Tal como os outros parâmetros, a concentração dos metais pesados no composto depende em certa medida da composição das matérias-primas usadas no processo de compostagem, da contaminação dos diversos tipos de resíduos ou da lixiviação de resíduos metálicos, realizada por ácidos orgânicos gerados durante o processo de compostagem. Como tal, é importante determinar a origem destes metais nos resíduos a compostar ^[66].

O problema associado aos metais pesados é mais frequente em compostagem de RSU's, devido à grande variabilidade de resíduos. Uma forma de contornar este problema é efetuar uma seleção rigorosa e apropriada dos resíduos provenientes de circuitos de recolha seletiva ^[56].

Anexo VI ESTRUTURA TARIFÁRIA DOS RESÍDUOS URBANOS EM PAÇOS DE FERREIRA

Tabela VI-1 – Tarifário atual aplicado no Município de Paços de Ferreira-Utilizadores Domésticos (1) (Adaptado de ^[74]).

Utilizadores Domésticos	Recolha Porta-a-Porta				Recolha de Proximidade	
	Escalão	Agregado (Nº)	Tarifa Fixa (€)	Tarifa Variável (€)	Tarifa Fixa (€)	Tarifa Variável (€)
Geral	1º	1	3,40	1,00	3,00	1,00
	2º	2	3,40	1,40	3,00	1,40
	3º	3	3,40	1,80	3,00	1,80
	4º	4	3,40	2,20	3,00	2,20
	5º	5	3,40	2,40	3,00	2,40
	6º	6	3,40	2,50	3,00	2,50
	7º	mais de 6	3,40	f₁	3,00	f₁
Tarifário Familiar	1º	5	3,40	1,80	3,00	1,80
	2º	6	3,40	2,20	3,00	2,20
	3º	mais de 6	3,40	f₂	3,00	f₂
f₁ = 2,50 + 0,10 x n₁ (n₁ = n.º de elementos do agregado acima de 6)						
f₂ = 2,20 + 0,10 x n₁ (n₁ = n.º de elementos do agregado acima de 6)						
Tarifário Social: isenção da tarifa fixa						

Tabela VI-2 - Tarifário atual aplicado no Município de Paços de Ferreira-Utilizadores Domésticos (2) (Adaptado de ^[74]).

Utilizadores Não Domésticos	Serviços				Comércio	
	Escalão	Área (m ²)	Tarifa Fixa (€)	Tarifa Variável (€)	Tarifa Fixa (€)	Tarifa Variável (€)
	1º	Até 100 m ²	5,50	3,50	5,50	4,00
	2º	101 - 200 m ²	5,50	5,75	5,50	7,00
	3º	201- 300 m ²	5,50	7,75	5,50	9,50
	4º	301 - 400 m ²	5,50	9,50	5,50	11,50
	5º	401 - 500 m ²	5,50	11,00	5,50	13,00
	6º	501 - 600 m ²	5,50	12,25	5,50	14,00
	7º	mais de 600 m ²	5,50	f₃	5,50	f₄
f₃ = 12,00 + 1,00 x a₁ [a₁ = (área - 600) ÷ 100]						
f₄ = 14,00 + 0,50 x a₁ [a₁ = (área - 600) ÷ 100]						

Tabela VI-3 - Tarifário atual aplicado no Município de Paços de Ferreira-Utilizadores Não Domésticos (3) (Adaptado de ^[74]).

Utilizadores Não Domésticos	Escala	Área (m ²)	Armazéns e Exposições		Supermercados e Hipermercados	
			Tarifa Fixa (€)	Tarifa Variável (€)	Tarifa Fixa (€)	Tarifa Variável (€)
	1ª	Até 100 m ²	5,50	4,00	5,50	55,00
	2ª	101 - 200 m ²	5,50	6,50	5,50	75,00
	3ª	201 - 300 m ²	5,50	8,50	5,50	85,00
	4ª	301 - 400 m ²	5,50	10,00	5,50	f ₆
	5ª	401 - 500 m ²	5,50	11,00	5,50	
	6ª	501 - 600 m ²	5,50	11,50	5,50	
	7ª	mais de 600 m ²	5,50	f ₅	5,50	
f ₅ = 11,50 + 0,10 x a ₁ [a ₁ = (área - 600) ÷ 100]						
f ₆ = 85,00 + 10,00 x a ₁ [a ₁ = (área - 700) ÷ 100]						

Tabela VI-4 - Tarifário atual aplicado no Município de Paços de Ferreira-Utilizadores Não Domésticos (4) (Adaptado de ^[74]).

Utilizadores Não Domésticos	Escala	Área (m ²)	Indústria		Hotelaria e Restauração	
			Tarifa Fixa (€)	Tarifa Variável (€)	Tarifa Fixa (€)	Tarifa Variável (€)
	1ª	Até 100 m ²	5,50	4,50	5,50	25,00
	2ª	101 - 200 m ²	5,50	7,50	5,50	45,00
	3ª	201 - 300 m ²	5,50	10,00	5,50	55,00
	4ª	301 - 400 m ²	5,50	12,00	5,50	60,00
	5ª	401 - 500 m ²	5,50	13,50	5,50	65,00
	6ª	501 - 600 m ²	5,50	14,50	5,50	70,00
	7ª	mais de 600 m ²	5,50	f ₇	5,50	f ₈
f ₇ = 14,50 + 0,10 x a ₁ [a ₁ = (área - 600) ÷ 100]						
f ₈ = 70,00 + 5,00 x a ₁ [a ₁ = (área - 600) ÷ 100]						

Tabela VI-5 - Tarifário atual aplicado no Município de Paços de Ferreira-Utilizadores Não Domésticos (5) (Adaptado de ^[74]).

Utilizadores Não Domésticos	Escalão	Área (m ²)	Casa de Eventos		Estabelecimentos de diversão		Estabelecimentos de Saúde	
			Tarifa Fixa (€)	Tarifa Variável (€)	Tarifa Fixa (€)	Tarifa Variável (€)	Tarifa Fixa (€)	Tarifa Variável (€)
	1º	Até 100 m ²	5,50	12,50	5,50	4,00	5,50	5,00
	2º	101 - 200 m ²	5,50	22,50	5,50	9,00	5,50	10,00
	3º	201- 300 m ²	5,50	27,50	5,50	13,00	5,50	20,00
	4º	301 - 400 m ²	5,50	30,00	5,50	16,00	5,50	40,00
	5º	401 - 500 m ²	5,50	32,50	5,50	18,00	5,50	45,00
	6º	501 - 600 m ²	5,50	35,00	5,50	19,00	5,50	50,00
	7º	mais de 600 m ²	5,50	f₉	5,50	f₁₀	5,50	f₁₁
f₉ = 35,00 + 2,50 x a₁ [a₁ = (área - 600) ÷ 100]								
f₁₀ = 19,00 + 1,00 x a₁ [a₁ = (área - 600) ÷ 100]								
f₁₁ = 50,00 + 2,50 x a₁ [a₁ = (área - 600) ÷ 100]								
Tarifário Social (não domésticos): Redução da tarifa fixa para 3,4€								

Anexo VII QUANTIDADE DE ECOPONTOS NO MUNICÍPIO DE PAÇOS DE FERREIRA

Tabela VII-1 – Número de ecopontos existentes no município.

Freguesia	Equipamento de deposição (Nº)	Rácio (habitantes por ecoponto)
Arreigada	5	398
Carvalhosa	10	459
Codessos	3	336
Eiriz	5	460
Ferreira	10	435
Figueiró	6	417
Frazão	11	387
Freamunde	18	432
Lamoso	5	323
Meixomil	8	458
Modelos	4	398
Paços de Ferreira	15	499
Penamaior	9	425
Raimonda	7	368
Sanfins de Ferreira	8	393
Seroa*	9	406

* Existem mais 2 ecopontos no Estabelecimento Prisional de Paços de Ferreira mas não foram contabilizados uma vez que a população também não.

Anexo VIII QUANTIDADE DE RESÍDUOS DEPOSITADOS NO ATERRO SANITÁRIO DE LUSTOSA

Tabela VIII - 1 – Quantidade de resíduos depositados no aterro sanitário de Lustosa em 2011 (Adaptado de ^[79]).

	Quantidade de Resíduos (t)			
	Felgueiras	Lousada	Paços de Ferreira	Totais mensais
<i>janeiro</i>	1 700,48	1 351	1 817,24	4 868,72
<i>fevereiro</i>	1 543,98	1 203,56	1 652,92	4 400,46
<i>março</i>	1 781,44	1 417,5	1 906,4	5 105,34
<i>abril</i>	1 946,38	1 587,12	2 058,38	5 591,88
<i>maio</i>	1 786,18	1 430,82	1 941	5 158
<i>junho</i>	1 712,74	1 400,34	1 860,06	4 973,14
<i>julho</i>	1 800,38	1 519,24	1 952,1	5 271,72
<i>agosto</i>	2 022,2	1 639,02	2 108,76	5 769,98
<i>setembro</i>	1 792,52	1 417,72	1 913,3	5 123,54
<i>outubro</i>	1 741,18	1 392,14	1 853,1	4 986,42
<i>novembro</i>	1 698,4	1 332,86	1 784,52	4 815,78
<i>dezembro</i>	1 726,4	1 327,7	1 786,66	4 840,76
Total Anual	21 252,28	17 019,02	22 634,44	60 905,74

